

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Mobilidade Elétrica: Planeamento de Postos de Carregamento para
Veículos Elétricos no concelho de Lisboa**

Miguel Ângelo da Silva Maia

Dissertação orientada
pelo Prof. Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa

Mestrado em Sistemas de Informação Geográfica e Modelação Territorial
aplicados ao Ordenamento

2018

Universidade de Lisboa
Instituto de Geografia e Ordenamento do Território



**Mobilidade Elétrica: Planeamento de Postos de Carregamento para
Veículos Elétricos no concelho de Lisboa**

Miguel Ângelo da Silva Maia

Dissertação orientada
pelo Prof. Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa

Júri:

Presidente: Professor Doutor Fernando Jorge Pedro da Silva Pinto da Rocha
do Instituto de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de
Lisboa;

Vogais:

- Professora Doutora Cristina Delgado Henriques da Faculdade de
Arquitectura da Universidade de Lisboa
- Professor Doutor Nuno Manuel Sessarego Marques da Costa do Instituto
de Geografia e Ordenamento do Território da Universidade de Lisboa

2018

Resumo

A mobilidade elétrica tem vindo a ser fortemente impulsionada pelos governos de vários países, beneficiando do desenvolvimento económico, tecnológico e industrial, resultando numa dinâmica bastante positiva no mercado de veículos elétricos dos últimos anos, com grandes expectativas de expansão futura. Com o crescimento do mercado de veículos elétricos, cresce também a necessidade da instalação de infraestruturas de carregamento, dada a relação de interdependência existente entre ambos. Em Portugal, o mercado apresentou uma evolução significativa nos últimos 3 anos, estimando-se um crescimento de até 34 mil veículos elétricos em 2020 e de até 179 mil veículos até 2030. Lisboa é o território nacional mais interessante para análise deste tema, pois concentra 23% dos registos de veículos elétricos ligeiros até junho de 2018 e 33% dos postos de carregamento instalados do país.

Neste contexto, esta dissertação teve como objetivos estruturar uma rede ótima de postos de carregamento de veículos elétricos no concelho de Lisboa (atendendo a diferentes contextos de carregamento), bem como a identificar os potenciais utilizadores de veículos elétricos. Este problema foi entendido como um problema de localização-alocação, dado que a localização dos postos de carregamento depende essencialmente da procura. Assim, na identificação de potenciais utilizadores foi realizada uma Análise Multicritério com recurso a Processo Analítico Hierárquico e para a estruturação das redes de carregamento normal foram aplicados modelos de análise de rede com abordagem de cobertura de máxima capacidade, sendo que no caso dos postos de carregamento rápido foi realizada uma simples análise espacial. Todos estes métodos suportados por SIG resultam numa metodologia consistente.

No concelho de Lisboa foram identificados cerca de 28 mil potenciais utilizadores (19 mil residentes e 9 mil empregados), resultando na estruturação de uma rede de 4000 postos de carregamento normal e 40 postos de carregamento rápido. A rede é eficiente, uma vez que foi distribuída para minimizar custos e minimizar o tempo de deslocação dos potenciais utilizadores. A maior parte do território de Lisboa terá uma maioria de postos residenciais. Os postos de carregamento rápido foram distribuídos pela rede viária e áreas de concentração de utilizadores. Foi ainda concluído que a distribuição ótima está fortemente dependente do comportamento do utilizador, bem como da evolução tecnológica, reforçando a importância do planeamento da distribuição que, ao considerar potenciais utilizadores e não utilizadores atuais, é difícil prever.

Palavras-chave: Mobilidade Elétrica; Veículo Elétrico; Postos de Carregamento; Localização-alocação; Lisboa.

Abstract

Electric mobility has been driven by many governments around the world, benefiting from major economic, technological and industrial developments, which has resulted in the growth of the electric vehicle market, with high expansion expectations for the future. As the electric vehicle market grows, so does the need for a charging infrastructure network. These two are interdependent and the evolution of one requires the evolution of the other, otherwise the lack of an infrastructure network can constitute a barrier to the adoption of electric mobility. In Portugal, the electric vehicle market has shown a significative evolution in the last 3 years. Studies point to 34.000 electric vehicles by 2020 and 179.000 electric vehicles by 2030. Currently Lisbon is the area of Portugal with the greatest electric mobility development, since it concentrates 23% of the electric vehicle registrations and 33% of the charging stations of the country.

In this context, the aim of this study is to create an optimal charging stations network in the municipality of Lisbon considering different charging contexts (normal charging for residential areas and work areas and fast charging). Other secondary objectives were delineated: identify potential users within the study area (as important as the main objective); understand how the evolution of technology and user's behaviour affect the planning and distribution of charging stations; finally, perform the segmentation of the territory by charging context. This problem was interpreted as a Location-Allocation problem, as the distribution of the charging stations are clearly influenced by their demand. That way, first, the potential users were identified by a Multicriteria Analysis with Analytical Hierarchical Process and, only then, the normal charging stations network was structured by a location-allocation model (network analysis) with a maximum capacitated coverage approach. For the distribution of fast charging stations, it was considered a simple methodology with spatial analysis. All the methodology was performed with GIS, which gave it a great consistency.

In total, 28.000 potential users were identified in the municipality of Lisbon (19.000 residents and 9.000 employees), which resulted in 4.000 normal charging stations and in 40 fast charging stations network. The network was proven efficient, since it was distributed by minimizing the costs and most users only need to walk up to 2 minutes between their location (home or work) and the charging station. Most of the territory will be occupied with a majority of residential charging stations. The fast charging stations were placed within the principal road network and on areas with high potential user's concentration. It was also concluded that the optimal distribution is highly influenced by the user's behaviour and the technical developments of the vehicle, reinforcing the importance of a well-planned network at the initial stages of electric mobility.

Key-words: Electric Mobility; Electric Vehicle; Charging Stations; Location-Allocation; Lisbon.

Índice geral

1.	Introdução.....	1
2.	Introdução à Mobilidade Elétrica.....	5
2.1.	O veículo elétrico	6
2.1.1.	Tipos de veículos elétricos e arquiteturas.....	7
2.1.2.	Vantagens e desvantagens face ao veículo convencional.....	9
2.2.	A necessidade ambiental da adoção de um novo tipo de mobilidade	17
2.2.1.	Poluição ambiental e o contributo do sector do transporte.....	18
2.2.2.	Objetivos e medidas para a redução da poluição ambiental no sector do transporte	19
2.2.3.	O contributo da Mobilidade Elétrica para a redução da poluição/melhoria do ambiente	22
2.3.	A transição para uma mobilidade inteiramente elétrica	23
2.4.	Perfil de utilizador e o perfil de utilização dos pontos de carregamento.....	27
2.4.1.	Perfil de utilizador	28
2.4.2.	Perfil de condução e de utilização dos pontos de carregamento	29
2.5.	A adoção da mobilidade elétrica pelo mundo	36
2.5.1.	Veículos Elétricos Plug-in na China.....	37
2.5.2.	Veículos Elétricos Plug-in nos EUA	39
2.5.3.	Veículos Elétricos Plug-in no Japão.....	40
2.5.4.	Veículos Elétricos Plug-in na Europa.....	41
3.	Mobilidade Elétrica em Portugal.....	47
3.1.	O Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal.....	50
3.1.1.	Evolução dos incentivos	56
3.1.2.	A rede de postos de carregamento.....	57
3.2.	O mercado de Veículos Elétricos Plug-in	59
4.	O planeamento da distribuição de postos de carregamento de veículos elétricos ...	63
4.1.	Revisão das metodologias aplicadas ao problema da localização dos postos de carregamento públicos.....	66
4.1.1.	Estudos realizados em Portugal.....	72

4.2.	Critérios considerados no problema da localização de postos de carregamento .	73
5.	Caso de estudo – Planeamento de postos de carregamento públicos no concelho de Lisboa	75
5.1.	Caracterização da área de estudo.....	77
5.2.	Construção e estruturação da base de dados	83
5.2.1.	Áreas aptas para colocação de postos de carregamento	84
5.2.2.	Postos de carregamento normal públicos nas áreas de residência.....	86
5.2.3.	Postos de carregamento normal públicos nas áreas de trabalho.....	88
5.2.4.	Postos de carregamento rápido públicos	88
5.3.	Aplicação das metodologias.....	90
5.3.1.	Áreas aptas para colocação de postos de carregamento	90
5.3.2.	Postos de carregamento normal públicos nas áreas de residência.....	91
5.3.3.	Postos de carregamento normal públicos nas áreas de trabalho.....	101
5.3.4.	Postos de carregamento rápido públicos	105
5.4.	Análise de resultados.....	107
5.4.1.	Postos de carregamento normal públicos nas áreas de residência.....	107
5.4.2.	Postos de carregamento normal públicos nas áreas de trabalho.....	116
5.4.3.	Postos de carregamento rápido públicos	121
5.4.4.	Análise geral.....	122
6.	Conclusões	129
	Bibliografia	133
	Anexos	145

Índice de figuras

Figura 1 - Marcos importantes na história dos veículos elétricos.	6
Figura 2 - Diferentes sistemas de veículos eletrificados e comparação com o sistema convencional.	7
Figura 3 - Emissões de gases com efeito de estufa (equivalendo a dióxido de carbono) no ciclo WTW para o segmento utilitário diferenciando o tipo de produção energética.	13
Figura 4 - Emissões de gases com efeito de estufa (equivalendo a dióxido de carbono) dos ciclos WTW e de vida dos equipamentos durante 15 anos (12000 km por ano).	14
Figura 5 - Comparação de emissões de CO2 e consumo de combustível e objetivos para a eficiência dos veículos ligeiros de passageiros.	20
Figura 6 - Perspetiva de evolução do mercado de veículos elétricos com base no modelo de evolução de uma nova tecnologia.	24
Figura 7 - Vendas globais acumuladas de PEV entre 2012 e 2017, diferenciação por países e regiões.	37
Figura 8 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 na China.	38
Figura 9 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 nos EUA.	39
Figura 10 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 no Japão.	40
Figura 11 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 na Europa.	41
Figura 12 - Estratégias de localização de postos de carregamento de carga normal em Portugal.	58
Figura 13 - Vendas anuais de PEV e respetiva percentagem no mercado de ligeiros de passageiros em Portugal entre 2010 e 2017.	60
Figura 14 - Evolução do stock de PEV em Portugal de 2010 a 2017.	60
Figura 15 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018 por concelho, em Portugal continental.	61
Figura 16 - Esquema conceptual do processo de obtenção da rede ótima de postos de carregamento normal nas áreas de residência.	76
Figura 17 - Esquema conceptual do processo de obtenção da rede ótima de postos de carregamento normal nas áreas de trabalho.	76
Figura 18 - Enquadramento da área de estudo.	78
Figura 19 – Rede viária hierarquizada no concelho de Lisboa.	79

Figura 20 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018, por freguesia na área de estudo.	81
Figura 21 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018 com probabilidade de pertencerem a empresas, por freguesia na área de estudo.	81
Figura 22 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018 com probabilidade de pertencerem a particulares, por freguesia na área de estudo.....	82
Figura 23 - Divisão da área de estudo entre probabilidade do registo do veículo elétrico pertencer a empresas e probabilidade de pertencer a particulares.....	82
Figura 24 - Distribuição dos postos de carregamento Mobi.E na área de estudo.	83
Figura 25 - Áreas aptas para colocação de postos de carregamento normal na área de estudo	91
Figura 26 - Áreas aptas para colocação de postos de carregamento normal. Exemplo aproximado na área de estudo.	91
Figura 27 - Gráficos com respetiva equação de escalonamento das variáveis para identificação dos potenciais utilizadores.....	92
Figura 28 - Distribuição do potencial de utilização de postos de carregamento públicos na área de estudo.	95
Figura 29 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes por subsecção estatística na área de estudo.	95
Figura 30 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes por freguesia na área de estudo.	96
Figura 31 - Percentagem de potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes em relação à população residente por freguesia na área de estudo.	97
Figura 32 - Distribuição dos residentes potencialmente utilizadores de veículos elétricos na área de estudo.	98
Figura 33 – Distribuição dos postos fictícios de entrada no modelo para as áreas de residência, na área de estudo.	98
Figura 34 - Esquema conceptual do <i>script</i> do modelo principal, modelo <i>New Location-allocation</i>	101
Figura 35 - Distribuição dos empregados potencialmente utilizadores de veículos elétricos na área de estudo.	102
Figura 36 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos empregados por subsecção estatística na área de estudo.	103
Figura 37 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos empregados por freguesia na área de estudo.....	103
Figura 38 - Distribuição dos postos fictícios para entrada no modelo das áreas de trabalho, na área de estudo.	104

Figura 39 – Concentração dos potenciais utilizadores de veículos elétricos na área de estudo.	106
Figura 40 - Rede viária selecionada para definição da localização dos postos de carregamento rápido na área de estudo.	106
Figura 41 - Postos de combustível na área de estudo.....	107
Figura 42 - Exemplo aproximado do resultado do modelo principal.....	108
Figura 43 - Distribuição dos postos de carregamento escolhidos no modelo principal nas áreas de residência da área de estudo.	109
Figura 44 - Postos de carregamento escolhidos no modelo principal nas áreas de residência por subsecção estatística na área de estudo.	110
Figura 45 – Postos de carregamento escolhidos no modelo principal nas áreas de residência por freguesia na área de estudo.	111
Figura 46 - Número médio de potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes por posto de carregamento, por freguesia na área de estudo.	112
Figura 47 - Postos de carregamento escolhidos nas áreas residenciais por km ² , por freguesia na área de estudo.	112
Figura 48 - Número médio de metros percorridos por potencial utilizador de veículos elétricos residente ao respetivo posto de carregamento, por freguesia na área de estudo.....	113
Figura 49 - Média da diferença de postos de carregamento entre o Modelo principal e os Modelos 2,3 e 4, por freguesia na área de estudo.....	115
Figura 50 - Média da diferença da distância percorrida entre os Modelos 2, 3 e 4 e o Modelo 1, por freguesia na área de estudo.	116
Figura 51 - Distribuição dos postos de carregamento escolhidos nas áreas de trabalho da área de estudo.....	117
Figura 52 - Postos de carregamento escolhidos nas áreas de trabalho, por subsecção estatística na área de estudo.	118
Figura 53 - Postos de carregamento escolhidos nas áreas de trabalho, por freguesia na área de estudo.....	119
Figura 54 - Número médio de potenciais utilizadores de veículos elétricos empregados por posto de carregamento, por freguesia na área de estudo.	120
Figura 55 - Postos de carregamento escolhidos por km ² nas áreas de trabalho, por freguesia na área de estudo.	120
Figura 56 - Número médio de metros percorridos por potencial utilizador de veículos elétricos empregado ao respetivo posto de carregamento, por freguesia na área de estudo.....	121
Figura 57 - Postos de carregamento rápido propostos e postos de carregamento rápido existentes na área de estudo.	122

Figura 58 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos por subsecção estatística na área de estudo.....	123
Figura 59 – Potenciais utilizadores de veículos elétricos por freguesia na área de estudo.	123
Figura 60 - Distribuição dos postos de carregamento normal e carregamento rápido na área de estudo.....	125
Figura 61 - Segmentação da área de estudo por contexto de carregamento mais utilizado.	126
Figura 62 - Postos de carregamento normal resultantes dos modelos, por subsecção estatística na área de estudo.	127
Figura 63 - Postos de carregamento normal resultantes dos modelos, por freguesia na área de estudo.....	127
Figura 64 - Esquema conceptual do script detalhado no <i>Modelbuilder</i>	147

Índice de quadros

Quadro 1 - Formas de carregamento/abastecimento dos veículos e características.....	11
Quadro 2 - Objetivos estratégicos, princípios fundamentais e fases do Programa para a Mobilidade Elétrica.	51
Quadro 3 - Tipos de carregamento público baseado nas necessidades do utilizador.....	65
Quadro 4 – Comparação das diferentes técnicas de otimização da localização e distribuição de postos de carregamento analisadas por Islam et al. (2015).	67
Quadro 5 - Comparação entre métodos de localização-alocação.....	70
Quadro 6 - Dados utilizados no enquadramento da área de estudo.	84
Quadro 7 - Dados utilizados na metodologia para identificação das áreas aptas para colocação de postos de carregamento	85
Quadro 8 - Dados utilizados na metodologia para a distribuição ótima de postos de carregamento normal nas áreas residenciais.	87
Quadro 9 – Dados utilizados na metodologia para a distribuição ótima de postos de carregamento normal nas áreas de trabalho.	88
Quadro 10 - Dados utilizados na metodologia para a distribuição ótima de postos de carregamento rápido.....	89
Quadro 11 - Matriz de comparação par-a-par, definição dos potenciais utilizadores.....	93
Quadro 12 - Normalização dos valores, pesos dos critérios para definição dos potenciais utilizadores	93
Quadro 13 - Modelos realizados no contexto de carregamento nas áreas de residência e respetivos princípios.....	100
Quadro 14 - Comparação entre os modelos <i>location-allocation</i> realizados.	114
Quadro 15 - Critérios espaciais comuns para a generalidade dos postos de carregamento públicos	145
Quadro 16 - Critérios espaciais comuns no caso dos postos de carregamento normal ...	145
Quadro 17 - Critérios espaciais comuns no caso dos postos de carregamento rápido	146

Siglas e Acrónimos

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida

AMC – Análise Multicritério

AP – Administração Pública

BEV – Veículo Elétrico a Bateria

CCV – Compromisso para o Crescimento Verde

CEME – Detentor de registo para Comercialização de Eletricidade para a Mobilidade Elétrica

CO – Monóxido de Carbono

DP – Desvio Padrão

EGME - Entidade Gestora da rede de Mobilidade Elétrica

ENAAC – Estratégica Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas

ENAR – Estratégia Nacional para o Ar

EUA – Estados Unidos da América

FCEV – Veículo Elétrico a Célula de Combustível

GEE – Gases com Efeito de Estufa

HEV – Veículo Elétrico Híbrido

ME – Mobilidade Elétrica

N₂O – Dióxido de azoto

NEDC – Novo Ciclo de Condução Europeu

NO_x – Óxido de azoto

O₃ – Ozono

OMS – Organização Mundial de Saúde

OPC - Operadores de Pontos de Carregamento

PAH – Processo Analítico Hierárquico

PEV – Veículos elétricos Plug-in

PHEV – Veículo Elétrico Híbrido Plug-in

PM₁₀ – Partículas inferiores a 10 µm

PM_{2.5} – Partículas inferiores a 2.5 µm

PNAC – Programa Nacional para as Alterações Climáticas

PNAEE – Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética

PNAER – Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis

QAN – Quadro de Ação Nacional

QEPiC – Quadro Estratégico para a Política Climática

REEV – Veículo Elétrico com Extensor de Autonomia

RNBC – Roteiro Nacional de Baixo Carbono

SIG – Sistemas de Informação Geográfica

SOC – State of Charge – Estado de carregamento inicial

TCO – Custo Total da Posse

TTW – Tank To Wheel

UE – União Europeia

UVE – Utilizador de Veículo Elétrico

V2G – Vehicle-to-Grid (Veículos para a Rede)

VCI – Veículo com motor de Combustão Interna

VE – Veículo Elétrico

VPT – Valor Patrimonial Tributário

WTT – Well to Tank

WTW – Well to Wheel

ZEV – Veículos de Zero Emissões

1. Introdução

Questões relacionadas com as emissões de gases com efeito de estufa, que aceleram as alterações climáticas, com poluentes atmosféricos, que, principalmente em áreas urbanas, provocam consequências nocivas na saúde dos seres vivos, e com a dependência de combustíveis fósseis, levaram a que vários governos adotassem medidas com o objetivo de promover a aquisição de veículos elétricos, dada a capacidade expectável de contribuírem em menor percentagem do que o veículo convencional para esses problemas. Devido à característica inovadora dos veículos elétricos, estes passarão por um longo processo até se tornarem um meio de transporte comum, tendo de ultrapassar várias barreiras à sua adoção, na sua maioria questões socio tecnológicas.

Ainda assim, o mercado de veículos ligeiros elétricos tem evidenciado uma dinâmica crescente e sustentada, sendo o veículo elétrico uma opção cada vez mais competitiva e racional para a aquisição de um veículo, tanto a título pessoal como empresarial (Resolução do Conselho de Ministros n.º 49/2016 de 1 de setembro). No entanto, e podendo surgir como uma barreira à adoção da mobilidade elétrica quando não disponível, os veículos elétricos dependem de uma infraestrutura de carregamento, a mais comum designada de postos de carregamento, que providencia a energia (eletricidade) necessária à locomoção e que o veículo armazena em baterias. Essa infraestrutura surge assim como crucial para o desenvolvimento da mobilidade elétrica, constituindo também um problema de planeamento territorial.

Portugal é um dos países da Europa que mais incentivos criou com o fim de desenvolver a mobilidade elétrica, concebendo subsídios de compra, benefícios para os utilizadores desses veículos, procedendo ao desenvolvimento de infraestruturas e criando incentivos locais (McKinsey, 2012). No âmbito do Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal (aprovado a 20 de fevereiro de 2009), foi estruturada uma Rede de Mobilidade Elétrica (MOBI-E) e até hoje várias alterações foram realizadas àquela que é considerada a rede piloto de infraestruturas de carregamento para veículos elétricos no país. Neste momento, a rede piloto encontra-se na 2ª fase com o objetivo de ser concluída no final de 2018 com um total de 1654 pontos (tomadas) (Despacho n.º 8809/2015 de 10 de agosto do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, 2015).

Prevendo-se um forte crescimento do mercado destes veículos, a necessidade de planear novos postos de carregamento será sempre fundamental até à maturação do mercado. No Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (Resolução do Conselho de Ministros 88/2017, de 26 de junho), consta que as estimativas para Portugal são de 34 mil veículos elétricos em 2020 e 179 mil em 2030, pelo que a infraestrutura de carregamento deverá acompanhar esse potencial.

Lisboa é o concelho onde a mobilidade elétrica em Portugal se tem desenvolvido com maior intensidade, concentrando, segundo dados da Londublis¹, cerca de um quarto dos registos de veículos elétricos ligeiros do país, e, segundo dados da Mobi.E, cerca de um terço dos postos de carregamento normal até então instalados.

É neste contexto da evolução expectável a nível nacional, mas sobretudo no território de Lisboa, que esta dissertação pretende otimizar uma rede de postos de carregamento normal e postos de carregamento rápido para o concelho de Lisboa. Por “ótima” entende-se servir um determinado tipo de utilizadores potenciais identificados no território de forma confortável e minimizando os custos, isto é, o número de postos de carregamento. Mais especificamente, pretende-se obter uma distribuição de postos de carregamento normal nas áreas residenciais, uma distribuição de postos de carregamento normal nas áreas de trabalho e uma distribuição de postos de carregamento rápido. Tendo em conta o problema do planeamento de postos de carregamento, este estudo foi entendido como um problema de localização-alocação (*Location-allocation*), combinando uma abordagem matemática com Sistemas de Informação Geográfica (SIG).

Os problemas de localização-alocação têm em conta sobretudo a procura por parte dos utilizadores, adequando-se ao caso em estudo. Do ponto de vista de modelação, consideram as localizações da procura e da oferta, bem como a distância e o custo de deslocação entre os dois pontos anteriores, como os principais fatores, protagonizando diferentes configurações territoriais (Buzai, 2013). Segundo Tali, Malik, Divya, Nusrath, & Mahalingam (2017), os SIG juntamente com as abordagens matemáticas de localização-alocação permitem uma simulação em tempo real da rede de transportes, acompanhada com uma elevada precisão, uma vez que utiliza a distância em tempo real, oferecendo uma abordagem mais direta que os modelos matemáticos convencionais.

Como, principalmente para os postos de carregamento normal, a procura é um fator essencial, um dos processos e objetivos importantes deste estudo é a identificação de potenciais utilizadores, tanto em áreas de residência, para um carregamento doméstico, como em áreas de trabalho. Para tal recorreu-se ao método Análise Multicritério juntamente com Processo Analítico Hierárquico. O Processo Analítico Hierárquico, consiste na ponderação dos pesos dos critérios, assentando na hierarquização e comparação entre os mesmos com base nos conhecimentos do analista (Saaty, 1990; Saaty, 2008), que neste caso têm como base a bibliografia consultada, espelhada em todo o enquadramento teórico da dissertação.

O problema da localização dos postos de carregamento tem sido entendido como um problema de localização-alocação na maioria de estudos, existindo diferentes abordagens

¹ Londublis - empresa de estudos de mercado. <http://www.londublis.com/>

dependendo dos objetivos dos mesmos (Elbanhawy & Dalton, 2015), o que resulta na aplicação de diferentes tipos de métodos, na maioria matemáticos e sem conjugação dos SIG (Funke, Gnann, & Plotz, 2015). Este estudo marca diferença pela utilização dessa conjugação, acrescentando o facto de ser utilizado AMC mais PAH na identificação de potenciais utilizadores, aplicada ao concelho de Lisboa.

Além dos objetivos práticos principais, que passam então pela identificação de potenciais utilizadores e estruturação da rede ótima de postos de carregamento normal e da distribuição ótima dos postos de carregamento rápido, este estudo tem ainda objetivos práticos secundários, relacionados com os primeiros, que passam pela:

- Compreensão da relação entre a necessidade de postos de carregamento, bem como a distribuição destes pelo território, e as mudanças no comportamento dos utilizadores de veículos elétricos e/ou evolução tecnológica dos componentes dos veículos elétricos;
- Identificação de padrões generalizados de carregamento no concelho de Lisboa, isto é, segmentação do território de acordo com o contexto de carregamento.

Juntamente, por ser importante realizar um enquadramento completo por se tratar de um tema relativamente recente e, por conseguinte, não tão conhecido, foram elaborados objetivos teóricos com o intuito de tomar conhecimento de toda a envolvente do mesmo. Nomeadamente, pretende-se conhecer o veículo elétrico relacionando-o com o veículo convencional, compreender o motivo que levou ao investimento e desenvolvimento do mesmo, entender o processo de evolução da mobilidade elétrica e barreiras relacionadas, caracterizar o perfil de utilizador atual, perfil de condução e perfil de carregamento e entender como é que a mobilidade elétrica se encontra dispersa pelo mundo. Mais específico, relacionado com Portugal, pretende-se conhecer as abordagens políticas para desenvolvimento da mobilidade elétrica e conhecer o estado de desenvolvimento atual.

Assim, esta dissertação encontra-se dividida em quatro capítulos, excluindo os capítulos que dizem respeito à introdução e conclusões. Primeiro, o capítulo número 2 corresponde à Introdução à Mobilidade Elétrica, constituindo o enquadramento teórico do tema, com importante influência na parte prática deste estudo. Nesse capítulo é apresentado o veículo elétrico e efetuada uma comparação em vários aspetos com o veículo convencional, é introduzida e explorada a importância do ressurgimento relativamente recente do veículo elétrico, é explicada a evolução da mobilidade elétrica e identificadas as principais barreiras à sua adoção, é caracterizado o perfil utilizador, perfil de condução e perfil de carregamento e por fim é realizada uma caracterização da evolução da mobilidade elétrica, nomeadamente vendas de veículos elétricos ligeiros, pelo mundo.

O capítulo número 3 trata-se de um capítulo mais específico, tratando a Mobilidade Elétrica em Portugal, onde se descrevem as várias políticas, programas e planos nacionais estabelecidos para inserir e/ou incrementar o desenvolvimento da Mobilidade Elétrica em Portugal. Além do referido, neste capítulo também se pode encontrar uma descrição da rede de postos de carregamento atuais e a descrição da evolução das vendas/registos de veículos elétricos ligeiros.

O capítulo número 4 pretende explorar a problemática da dissertação, pelo que inclui uma explicação da importância dos postos de carregamento, bem como uma descrição de algumas das abordagens possíveis quando se trata deste tema. Inclui-se também uma revisão bibliográfica dos vários métodos aplicados para resolução do planeamento de postos de carregamento, assim como dos vários critérios considerados.

O capítulo número 5 trata do caso de estudo desta dissertação, dividindo-se em quatro subcapítulos, sendo que na maioria desses subcapítulos é efetuada uma divisão entre metodologias (definição das áreas aptas, postos de carregamento normal nas áreas residenciais, postos de carregamento normal nas áreas de trabalho e postos de carregamento rápido). Num primeiro subcapítulo é realizada uma caracterização da área de estudo. De seguida, descrevem-se os dados utilizados em cada metodologia das divisões referidas acima. Posteriormente, explicam-se os processos metodológicos para concretização dos objetivos e, por fim, são analisados os resultados individuais e o resultado geral (potenciais utilizadores, postos de carregamento normal e rápido).

2. Introdução à Mobilidade Elétrica

Atualmente, o sistema de propulsão a combustão interna (gasolina e diesel) domina o mercado, mas no final do séc. XIX, início do séc. XX existiam três sistemas de propulsão que competiam de forma mais ou menos proporcional entre si: o vapor, o elétrico e a gasolina. Em 1890, nos Estados Unidos da América (EUA), a percentagem de veículos com motores de combustão interna era apenas 22% (contra 38% veículos elétricos e 40% veículos a vapor), mas vários fatores, como desenvolvimentos mecânicos, a descoberta de grandes reservas de petróleo no Texas e principalmente por ser o sistema escolhido por Henry Ford na produção do Ford Model T, levaram a que este tipo de propulsão se tenha massificado, dificultando o desenvolvimento dos veículos elétricos (Deffke, 2013; Sandén & Wallgren, 2013)

A mobilidade elétrica atravessou um limiar crítico e está a beneficiar de vários desenvolvimentos, alguns tecnológicos, direta e indiretamente relacionados com o sector automóvel, e outros no contexto social da mobilidade rodoviária (Dijk, Orsato, & Kemp, 2013). Mas são principalmente a dependência de combustíveis fósseis, o facto de estes terem um stock limitado e as preocupações com problemas ambientais/ecológicos causados pela massificação dos veículos com motores de combustão interna que dão à mobilidade elétrica uma nova oportunidade (Deffke, 2013; Dijk et al., 2013), aumentando dessa forma a flexibilidade e robustez do sector do transporte, dado que a eletricidade usada para propulsionar o veículo elétrico pode provir de diversas fontes, tais como energia nuclear, combustíveis fósseis e energias renováveis.

Contudo, a transição da mobilidade convencional para uma mobilidade unicamente elétrica não será simples, dado o grau de penetração do veículo de combustão interna na sociedade atual, passando por várias fases de adoção. Os veículos elétricos a bateria não podem simplesmente substituir os veículos convencionais sem mudanças importantes nas várias estruturas que compõem a indústria automóvel e nos padrões de mobilidade (Augenstein, 2015; Byrne & Pedro, 2016). O seu sucesso depende do grau em que o sistema sociotécnico envolvente possa ser caracterizado como adaptável.

Grauers et al. (2013) definem Mobilidade Elétrica (ME) como um sistema de transporte rodoviário baseado em veículos que são propulsionados por eletricidade. Alguns veículos são equipados com tecnologias que permitem a própria produção da eletricidade (veículos híbridos). Outros utilizam energia fornecida por uma fonte exterior ao veículo, normalmente a rede de eletricidade. Pode considerar-se esta uma definição ampla, uma vez que tem em consideração não só os veículos que armazenam eletricidade como também os veículos que não armazenam (como o elétrico/*Tram*).

2.1. O veículo elétrico

Como já foi abordado, a invenção do Veículo Elétrico (VE) não é recente. Remonta à década de 20 e à década de 30 do séc. XIX – o primeiro VE terá sido inventado em 1828 e o primeiro veículo elétrico a bateria em 1834 -, sendo por isso 50 anos mais antiga que o veículo de combustão interna (Chan, 2013). Resumidamente, com recurso à Figura 1, onde se identificam três fases principais na sua evolução, o VE tornou-se popular no início do séc. XX, especialmente em ambiente urbano devido à reduzida autonomia. No entanto, devido a questões já referidas, como a produção em massa do modelo Ford T, a necessidade de realizar longas distâncias (que o VE não cobriria) e a grande disponibilidade de reservas de petróleo que levaram à massificação do veículo com motor de combustão interna, a popularidade do VE declinou. Segundo Ajanovic (2015) e Chan (2013), o VE esteve esquecido por mais de 50 anos, vindo a tornar-se novamente popular desde a década de 70 do séc. XX devido a preocupações relacionadas com a poluição e os *stocks* limitados das reservas de petróleo. Nesse sentido, foram realizadas várias iniciativas para a promoção da difusão do VE.

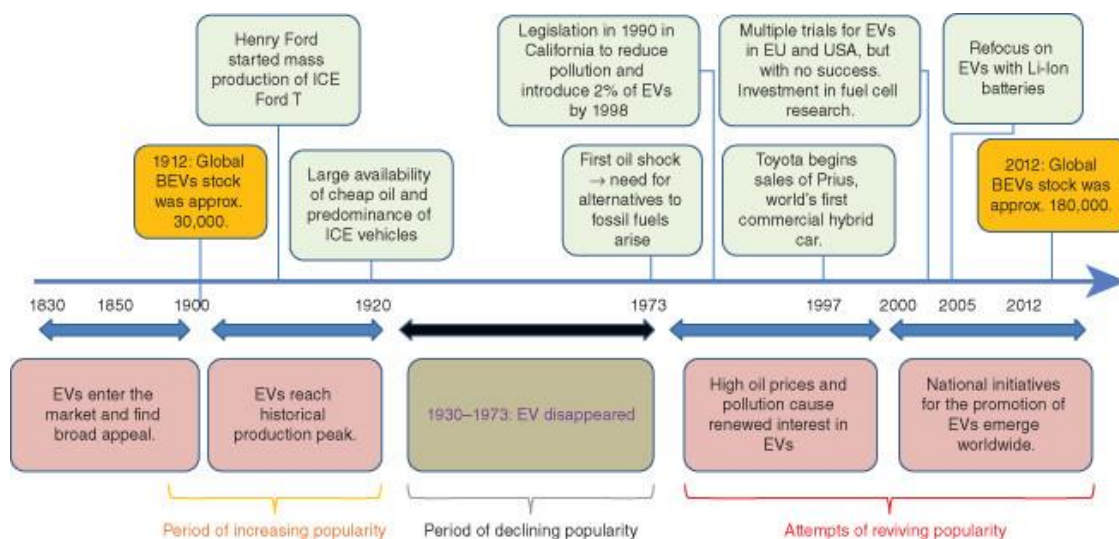


Figura 1 - Marcos importantes na história dos veículos elétricos.

Fonte: Ajanovic (2015, p.523).

A Comissão Europeia (2014, p.10) considera que Veículo Elétrico se trata de “um veículo a motor equipado com um grupo motopropulsor que contém, pelo menos, um mecanismo elétrico não periférico como conversor de energia, dotado de um sistema elétrico recarregável de armazenamento de energia, o qual pode ser carregado externamente”. Uma definição semelhante é a apresentada no nº1 do Artigo 3º do Decreto-Lei nº. 90/2014 de 11 de junho do Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia, que considera “veículos elétricos o automóvel, o motociclo, o ciclomotor, o triciclo ou o quadriciclo, dotados de um ou mais motores principais

de propulsão elétrica que transmitam energia de tração ao veículo, incluindo os veículos híbridos elétricos, cuja bateria seja carregada mediante ligação à rede de mobilidade elétrica ou a uma fonte de eletricidade externa, e que se destinem, pela sua função, a transitar na via pública, sem sujeição a carris”.

As definições apresentadas anteriormente restringem o VE àquele que depende de uma ligação exterior para o fornecimento de energia, armazenando-a em baterias, que alimenta o motor elétrico e propulsiona o veículo, sendo ou não combinado com um motor de combustão interna. Esses são, de facto, os veículos elétricos relevantes e os tipos considerados no caso de estudo deste documento, no entanto, “veículo elétrico” pode abranger outros sistemas.

2.1.1. Tipos de veículos elétricos e arquiteturas

Atualmente, os fabricantes de automóveis utilizam cinco tipos de tecnologias na produção de veículos eletrificados, havendo a possibilidade de escolher três tipos de veículos híbridos, veículos elétricos a bateria e veículos a células de combustível (European Environment Agency, 2016). Além dos cinco diferentes tipos de veículos eletrificados, na Figura 2 também se pode observar o sistema do veículo convencional, assim chamado pelo facto de ser o sistema mais comum.

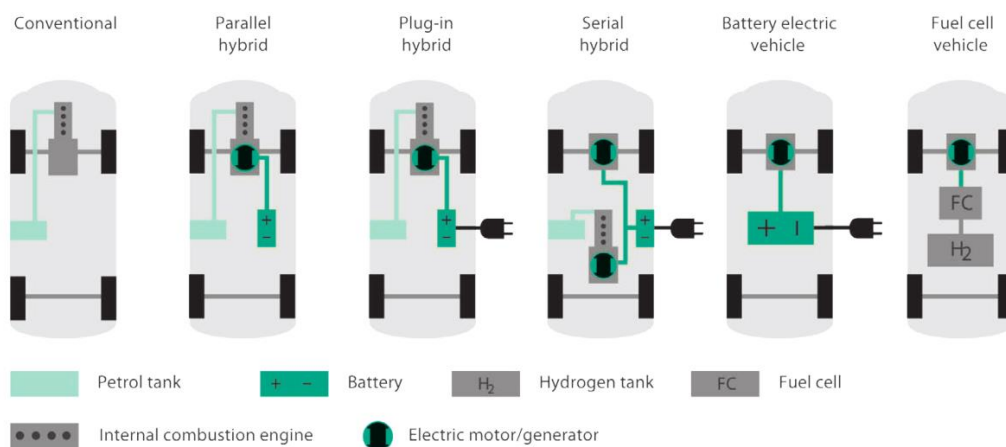


Figura 2 - Diferentes sistemas de veículos eletrificados e comparação com o sistema convencional.

Fonte: Deffke (2013).

O veículo convencional, **veículo com motor de combustão interna (VCI)**, utiliza combustíveis fósseis para alimentar o motor de combustão interna e, portanto, sem eletrificação. É tido como a tecnologia de referência, por ser aquela que configura o sistema de transporte atual (Ajanovic, 2013; Ajanovic, 2014; Ajanovic & Haas, 2015; Ajanovic & Haas, 2016 e European Environment Agency, 2016). A autonomia deste tipo de veículo pode variar bastante, é em média 900 km.

O **Veículo Elétrico Híbrido (HEV)** utiliza simultaneamente um motor de combustão interna e um motor elétrico numa configuração paralela (representada na Figura 2) ou em série. Em ambas as configurações, os motores propulsionam o veículo em conjunto, mas na configuração em série há a possibilidade de o veículo ser propulsionado apenas pela bateria, normalmente a velocidades reduzidas e curtas distâncias (3-5 km). Os HEV não utilizam a rede de eletricidade para carregar a bateria que possuem, esta é carregada por travagem regenerativa e ao armazenar o excesso de energia produzido pelo motor de combustão interna, sendo uma medida de eficiência energética (Ajanovic, 2013; Ajanovic, 2014; Ajanovic & Haas, 2015; Balsa, 2013; European Environment Agency, 2016; Hosts, 2012; Ioannides & Wall-reinius, 2015). Este tipo de veículo representa a maior cota de mercado dos veículos eletrificados, uma vez que apresenta características e custos de mobilidade bastante similares aos veículos convencionais (Ajanovic & Haas, 2016).

O **Veículo Elétrico Híbrido Plug-in (PHEV)** é propulsionado por um motor elétrico e um motor de combustão interna que podem operar em simultâneo ou em separado, um sistema semelhante aos HEV mas a bateria pode ser carregada externamente (rede de eletricidade). A maior parte das baterias dos PHEV é destinada a curtas distâncias (sobretudo para áreas urbanas), permitindo uma condução em modo elétrico entre 30 a 60 km (Ajanovic, 2013; Ajanovic, 2014; Ajanovic & Haas, 2015; Balsa, 2013; European Environment Agency, 2016; Ioannides & Wall-reinius, 2015). O PHEV pode ser visto como um HEV que tem a sua autonomia em modo elétrico aumentada pela presença de maiores baterias e a possibilidade de serem carregadas externamente. No entanto, também pode ser visto como um veículo elétrico a bateria suplementado com um motor de combustão interna, aumentando a autonomia total e o seu desempenho (Nemry, Leduc, & Muñoz, 2009; Transport and Environment, 2016).

O **Veículo Elétrico com Extensor de Autonomia (REEV)** é propulsionado por um motor elétrico que recorre à eletricidade armazenada na bateria, contudo, possui um pequeno depósito de combustível e um pequeno motor de combustão interna que serve apenas como gerador de energia para carregamento da bateria e que posteriormente alimenta o motor elétrico. A bateria do REEV também conecta com a rede externa de eletricidade, apenas recorre ao motor de combustão interna quando está descarregada por forma a aumentar a autonomia do veículo (Ajanovic & Haas, 2015; European Environment Agency, 2016; Transport and Environment, 2016).

O **Veículo Elétrico a Bateria (BEV) ou Veículo Elétrico Puro** usa apenas motores elétricos para a sua propulsão, ou seja, toda a força de propulsão deriva da energia da rede externa de eletricidade, armazenada na bateria *on-board*, salvo pequena parte que provém da travagem regenerativa. Os BEV são 100% elétricos e são os veículos com maior eficiência energética, uma

vez que mais de 80% da energia armazenada na bateria é convertida em movimento, além de aproveitarem a energia desperdiçada na travagem (dita travagem regenerativa). (Ajanovic & Haas, 2015; Balsa, 2013; European Environment Agency, 2016; Ioannides & Wall-reinius, 2015; Nemry et al., 2009; Transport and Environment, 2016). Dependendo do veículo, estes possuem uma autonomia que varia bastante de modelo para modelo. A maioria, atualmente, apresenta uma autonomia de cerca de 160 km reais (Ajanovic, 2014), ainda que com o desenvolvimento das baterias a autonomia esteja em constante evolução, sendo que muitos dos novos modelos vêm equipados com baterias com capacidade para mais de 300 km reais (baterias superiores a 40 kWh). Normalmente, a autonomia dos BEV difere do anunciado pelas marcas, dependendo de fatores internos e externos. Importantes fatores internos são o peso e forma do veículo e a resistência dos pneus ao rolamento. Esses fatores associados com a elevação da rota e a velocidade de condução, bem como a meteorologia (principalmente a temperatura) definem a autonomia real do veículo (Lindblad, 2012). O BEV é o tipo de veículo que obtém uma maior relevância e atenção nos estudos realizados, dado as suas características puramente elétricas.

O Veículo Elétrico a Célula de Combustível (FCEV) é também propulsionado apenas por eletricidade, no entanto, a energia não é armazenada em baterias. Em vez disso, o FCEV converte hidrogénio em eletricidade através de células de combustível, tendo, por isso, um tanque de hidrogénio. O FCEV tem a vantagem de ter uma autonomia média-elevada, cerca de 600 km, e do abastecimento ser tão rápido quanto o dos veículos convencionais. O custo de aquisição deste veículo é significativo maior que os restantes veículos elétricos, sendo uma tecnologia em desenvolvimento precoce e com poucos modelos disponíveis para venda, e prevê-se que continue assim até 2030, altura em que os BEV e os PHEV terão progredido o suficiente para aniquilar a vantagem referida que o FCEV tem sobre estes (Ajanovic & Haas, 2015; European Environment Agency, 2016; Nemry et al., 2009; Transport and Environment, 2016).

Resumindo, existem, basicamente, duas categorias de veículos eletrificados, os veículos que possuem um pequeno sistema elétrico sem conexão com a rede (o caso dos HEV) e aqueles que configuram um sistema elétrico com possibilidade de se conectarem com a rede, chamados de Veículos Elétricos Plug-in (PEV), sendo sobre esses que este estudo se trata.

2.1.2. Vantagens e desvantagens face ao veículo convencional

Segundo Byrne & Pedro (2016), a opção pela mobilidade elétrica aportará um conjunto de vantagens, como a redução dos níveis de poluição e ruído, melhoria da experiência de condução e eficiência (disponibilização de binário máximo desde o arranque do motor e travagem regenerativa), potencial redução do Custo Total da Posse (*Total Cost of Ownership* – TCO) ao longo da vida do veículo, e redução da dependência energética do país e dos combustíveis fósseis

importados. No entanto, apresenta também desvantagens, como a autonomia limitada dos veículos, elevado custo das baterias, infraestrutura de carregamento ainda pouco desenvolvida, normas e protocolos tecnológicos ainda não estabelecidos, nomeadamente ao nível da interoperabilidade entre sistemas de carregamento e desenho das fichas de carregamento e necessidade de modelos de financiamento autossustentáveis para o desenvolvimento da mobilidade elétrica, em concreto da infraestrutura de suporte.

Estando a sociedade acomodada ao veículo convencional, torna-se interessante realizar uma comparação entre tipos de veículos, especialmente entre o convencional e o BEV, dado que este último é o que mais requer uma redefinição dos hábitos de mobilidade estruturados pelo primeiro. À medida em que serão apresentadas diferenças entre os VE e os veículos convencionais, nomeadamente a nível de carregamento/abastecimento do veículo, impactos ambientais, segurança e TCO, são também apresentadas definições e apresentações técnicas, em especial do VE, dado que muitas especificações do mesmo não são conhecidas.

2.1.2.1. Carregamento/abastecimento do veículo

A bateria dos veículos elétricos pode ser carregada por *plug-in* ou por indução, existindo ainda a possibilidade de troca de bateria (*swap*), como se observa no Quadro 1. Segundo McKinsey (2014), a técnica de troca de baterias é muito pouco utilizada dado ao facto de não serem produzidos modelos de veículos com essa opção. Já o carregamento por indução é um modo piloto em alguns locais e ainda não está disponível comercialmente. O carregamento com cabo e ficha (*plug-in*) num posto de carregamento é, assim, o mais frequente, pelo que será o modo mencionado.

Segundo o Decreto-Lei nº. 90/2014 de 11 de junho, constituem pontos de carregamento as infraestruturas dedicadas exclusivamente ao carregamento de baterias de veículos elétricos (...), às quais podem estar associados outros serviços relativos à mobilidade elétrica, excluindo as tomadas elétricas convencionais. Segundo McKinsey (2014), há vários aspetos a considerar no carregamento das baterias:

- **Nível de potência** – o nível de potência da fonte de carregamento, expresso em kW, determina a velocidade de carregamento da bateria. Atualmente a potência dos postos de carregamento varia entre 3,6 kW (carregamento lento) e 40/50 kW (carregamento rápido). Existem ainda postos exclusivos com potência de 100 kW e até de 300 kW;
- **Corrente elétrica** – a eletricidade é disponibilizada na rede em corrente alternada e as baterias apenas armazenam corrente contínua, sendo necessário a conversão da eletricidade. Apenas os postos de carregamento rápido têm um conversor

integrado, os restantes postos de carregamento fornecem a eletricidade em corrente alternada que o veículo converte em corrente contínua (conversor *on-board*);

- **Tomadas** – Um posto de carregamento pode ter mais do que uma tomada, sendo utilizados vários tipos de configurações de tomadas, a mais comum na Europa em carregamento normal é a chamada “Mennekes” que foi proposta a padronizar;
- **Tamanho da bateria** – dependendo do tipo de veículo, existem diferentes limites do nível de potência e do tipo de corrente, sendo esta capacidade determinada pelo tamanho da bateria, medida em kWh. Por exemplo, um veículo pode ter uma bateria de 22 kWh, mas se o seu conversor *on-board* limitar o carregamento a 7 kW/h o veículo pode estar conectado a um posto de carregamento de 22 kW (corrente alternada) mas a bateria apenas consegue receber 7 kWh. Os postos de carregamento rápido, possuindo um conversor incorporado, enviam corrente contínua diretamente para a bateria, pelo que o conversor do veículo não interfere com o carregamento.

Quadro 1 - Formas de carregamento/abastecimento dos veículos e características.

Infraestruturas de carregamento					
	Gasolina/Diesel	Hidrogénio	Bateria (eletricidade)		
Operação	Abastecimento de Gasolina/Diesel	Abastecimento de hidrogénio	Carregamento com cabo e ficha	Troca de bateria	Carregamento por indução
Descrição	Posto de combustível convencional	Abastecimento similar ao abastecimento de gás natural	Ligar a um posto de carregamento utilizando um cabo e ficha (plug-in)	Trocar a bateria em uso por uma bateria carregada numa estação especial	A bateria do carro é carregada por wireless (rede sem fios)
Tempo necessário	5 min	5 min	Até 12h (normal) 20-60 min (rápido)	5 min	2-8h
Tipos de veículos	ICE HEV PHEV	FCEV REEV	PHEV BEV REEV	BEV específico para a troca de bateria	BEV específico para carregamento por indução

Fonte: Adaptado de McKinsey (2014).

O tempo de carregamento é, juntamente com a autonomia, uma das maiores desvantagens dos VE atuais, em especial do BEV. Tendo uma autonomia que pode ser até seis vezes inferior à autonomia de um veículo convencional, a bateria de um BEV demora um tempo considerável a ser carregada. Como é observável no Quadro 1, enquanto um veículo convencional demora cerca de cinco minutos a abastecer, o BEV demora, na melhor das hipóteses, vinte a trinta minutos a carregar 80% da bateria em postos de carregamento rápido, que atualmente são poucos devido aos custos elevados que acarretam e ao elevado impacto na rede de eletricidade. A maioria dos postos instalados atualmente são de carregamento normal (lentos ou semirrápidos) podendo o carregamento durar até doze horas (Ajanovic & Haas, 2016), dependendo do tamanho da bateria instalada no veículo e da capacidade do posto de carregamento. Juntamente, estando ainda as

infraestruturas de carregamento em desenvolvimento, há pouca disponibilidade destas no território, contrariamente aos postos de combustível que estão largamente distribuídos.

Além das questões relacionadas com a autonomia e o tempo de carregamento, os veículos elétricos com bateria ainda apresentam a desvantagem do tempo de vida da bateria e o respetivo valor de substituição da mesma. Estudos quantitativos citados por Lebeau, Lebeau, Macharis, & Van Mierlo (2013, p.4) demonstram que o número de ciclos (descarregamento – carregamento) para a bateria de lítio-íons antes da capacidade cair para 80% é de cerca de 1000. Se considerarmos uma bateria de 22 kWh, com uma autonomia de cerca de 200 km, o tempo de vida da bateria até perder a capacidade para 80% será de 200 mil km. No entanto, todas estas desvantagens encontram-se em diminuição com o desenvolvimento das baterias.

2.1.2.2. *Impacto ambiental*

Um dos principais objetivos da eletrificação do transporte é reduzir as emissões de gases com efeito estufa e a poluição do ar (Ajanovic & Haas, 2016). É do conhecimento que os veículos elétricos (os BEV e outros quando conduzidos em modo elétrico) não produzem emissões de escape, mas para uma avaliação rigorosa do impacto ambiental e para a possibilidade de comparação com o veículo convencional há que ter em conta todos os processos da vida do veículo e da energia que o move. A metodologia utilizada para avaliar os impactos ambientais dos diferentes tipos de veículos e combustíveis chama-se Avaliação de Ciclo de Vida (ACV). Neste caso, pode dividir-se em estudos *Well-to-wheel* (WTW), que foca no ciclo da energia utilizada para propulsionar o veículo desde a fonte até ser utilizada para criar movimento, ou em estudos do ciclo de vida dos equipamentos que corresponde à produção, operação (manutenção) e destruição dos materiais e equipamentos que compõem o veículo (Messagie, Boureima, Coosemans, Macharis, & Mierlo, 2014; Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo, 2014).

Segundo Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo (2014) e Nordelöf, Messagie, Tillman, Ljunggren Söderman, & Van Mierlo (2014) a eletrificação dos veículos consegue reduzir potencialmente as emissões de gases efeito estufa ao aumentar a eficiência na fase TTW (*Tank-to-wheel* – fase que corresponde ao percurso da energia durante a operação do veículo) e ao reduzir a energia produzida a partir de combustíveis fósseis na fase WTT (*Well-to-tank* – fase que corresponde ao percurso desde a fonte de energia à sua entrega no veículo).

Um estudo promovido pela União Europeia (UE), “Well-to-wheels analysis of future automotive and powertrains in the European context”, focado nas emissões de efeito estufa e baseado no Novo Ciclo de Condução Europeu (NEDC), onde se consideraram BEV, PHEV e REEV e um valor de referência de 143 g CO₂-eq./km no ciclo total WTW - 120 g CO₂-eq./km era um antigo objetivo da UE para emissões de escape de novos carros vendidos, acrescentando

as emissões na fase WTT -, mostrou que todos os veículos eletrificados têm menores emissões do que o valor de referência. Além disso foi concluído que o valor de emissões diminui conforme aumenta o nível de eletrificação (Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo, 2014 e Nordelöf, Messagie, Tillman, et al., 2014).

A Figura 3 demonstra as diferenças nas emissões de gases com efeito de estufa para um veículo utilitário BEV conforme a fonte da energia utilizada para a locomoção, comparando-o com as emissões produzidas por veículos convencionais. É possível concluir que, utilizando fontes renováveis ou energia nuclear, o veículo elétrico pode ser bastante limpo a nível de emissões. No entanto, se a energia utilizada for produzida através de combustíveis fósseis, o valor de emissões (WTT) é muito próximo aos valores de escape provocados pelos veículos convencionais (TTW).

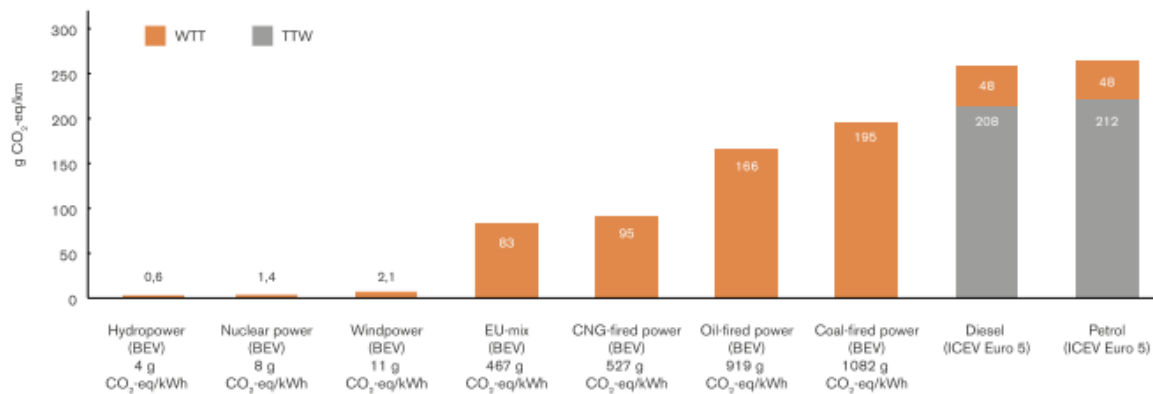


Figura 3 - Emissões de gases com efeito de estufa (equivalendo a dióxido de carbono) no ciclo WTW para o segmento utilitário diferenciando o tipo de produção energética.

Fonte: Messagie et al. (2010)² cit. por Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo, (2014).

Outros estudos também citados por Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo (2014) e por Nordelöf, Messagie, Tillman, et al. (2014) demonstram resultados idênticos. No geral, as emissões de GEE reduzem com o nível de eletrificação do veículo, incluindo em ambiente urbano, onde há muitas paragens, mas a principal informação a reter é que esse progresso depende da percentagem de combustíveis fósseis que contém a eletricidade disponível. Assim, os benefícios ambientais da mobilidade elétrica estão fortemente dependentes dos desenvolvimentos no sistema energético. Messagie et al. (2014) conclui que os veículos convencionais têm um maior impacto nas alterações climáticas, sendo que a hibridização apresenta um efeito positivo. Os BEV apresentam um menor impacto nas alterações climáticas, no entanto, quando a eletricidade é

² M. et al. (2010). Life cycle assessment of conventional and alternative small passenger vehicles in Belgium. 2010 IEEE Vehicle Power and Propulsion Conference, VPPC 2010. 1-3 Sept. 2010, Lille: IEEE.

produzida somente a partir de petróleo ou carvão, o impacto consegue ser tão grande quanto o impacto dos veículos convencionais.

Juntando o ciclo de vida dos equipamentos, avaliando as emissões de dióxido de carbono por quilômetro durante o tempo de vida de vários veículos de diferentes segmentos, concluiu-se que os veículos eletrificados, apesar de os ciclos de equipamento serem mais elevados que os do VCI, continuam com um menor impacto (Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo, 2014, p.67). O mesmo se conclui num estudo realizado no Reino Unido num cenário urbano, em que se avaliaram veículos ligeiros de passageiros (Figura 4).

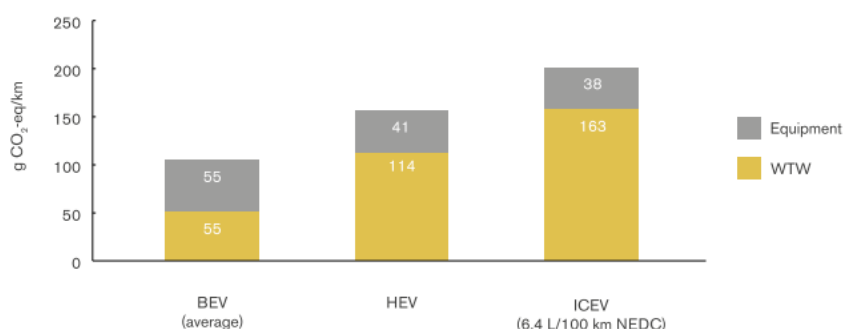


Figura 4 - Emissões de gases com efeito de estufa (equivalendo a dióxido de carbono) dos ciclos WTW e de vida dos equipamentos durante 15 anos (12000 km por ano).

A mistura de eletricidade corresponde a 450 g CO₂ -eq/kWh, projetado para o Reino Unido.

Fonte: Ma et al. (2012)³ cit. por Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo (2014).

A mesma máxima de que o impacto diminui conforme aumenta o nível de eletrificação do veículo é válida também nos resultados de estudos de impacto na saúde humana (eutrofização e acidificação). Esta variação é justificada porque estes impactos são maioritariamente causados por poluentes aéreos (PM_{2.5}, PM₁₀, NO_x, O₃, entre outros), muitos deles causados pela combustão, quer no veículo quer numa central elétrica (Nordelöf, Messagie, & Van Mierlo, 2014; Nordelöf, Messagie, Tillman, et al., 2014). Mais uma vez, a fonte de produção da eletricidade torna-se aqui importante para veículos carregados externamente.

As emissões locais de substâncias tóxicas provenientes dos estágios de produção surgem como uma desvantagem dos veículos elétricos, especialmente relativos à produção de baterias. No caso do BEV, as componentes específicas do sistema elétrico, nomeadamente a bateria de lítio, o motor e outros componentes eletrónicos, correspondem a cerca de metade do impacto tóxico total (Nordelöf, Messagie, Tillman, et al., 2014).

³Ma et al. (2012) A new comparison between the life cycle greenhouse gas emissions of battery electric vehicles and internal combustion vehicles. Energy Policy 44:160-173.

Resumindo, a nível das emissões de gases de efeito estufa, os veículos eletrificados têm bastante potencial de causarem menores impactos que os veículos convencionais. Dependendo muito da fonte de eletricidade utilizada para a locomoção, os impactos deverão diferenciar-se entre países, conforme varia a mistura de eletricidade disponibilizada na rede. Tratando-se de outros poluentes que causam impacto na saúde humana, os veículos elétricos continuam a ser vantajosos em relação aos VCI, à exceção dos níveis de toxicidade que poderão ser bastante mais elevados nos VE.

2.1.2.3. Segurança

Em 2003, Van den Bossche referia que, com a introdução de VE, seria necessário o acatamento de regras de segurança inerentes ao sistema de propulsão elétrico, de forma a tornar o VE num modo de transporte seguro e de confiança. Atualmente, ainda há quem considere que estes veículos não são tão seguros quanto os veículos convencionais (Ioannides & Wall-reinius, 2015). De facto, perceções envolvendo a segurança e confiança dos VE constituem uma questão pelo mercado (Trigg, Telleen, Boyd, & Cuenot, 2013), constituindo também uma das principais preocupações (Larsson, Anderson, & Mellander, 2014). Os veículos convencionais têm tido avanços importantes a nível da segurança nas últimas duas décadas, as técnicas então desenvolvidas devem ser adaptadas à nova tecnologia, mantendo os requisitos elevados de segurança, conforto e confiança (Deffke, 2013; Larsson et al., 2014). Adicionalmente, devem ser criadas e adaptadas regras e normas que assegurem a fácil utilização do veículo e do processo de carregamento do mesmo (Ajanovic, 2014).

Os VE apresentam a vantagem de não transportarem combustíveis, sejam gasolina ou diesel, ambos inflamáveis e tóxicos. No entanto, os veículos eletrificados têm um número de preocupações em termos de segurança que os veículos convencionais não têm, relacionados com as componentes elétricas que compõem o sistema (O'Malley, Zuby, Moore, Paine, & Paine, 2015). A bateria é o elemento mais crítico, por representar vários perigos potenciais, elétricos, mecânicos, químicos e risco de explosão (Van den Bossche, 2003).

Segundo Larsson et al. (2014), os fabricantes construíram o veículo de forma a que a voltagem em níveis que constituem perigo se mantenha no pacote da bateria, isolada do resto do veículo, ou seja, o veículo, bem como o equipamento de carregamento, pode ser considerado sem voltagem, exceto o interior do sistema de bateria. Os componentes e cabos que contêm elevada voltagem estão normalmente bem isolados e protegidos, sendo o risco de choque elétrico muito baixo a nível geral. Ainda assim, para que o risco seja controlado, os fabricantes colocaram a bateria numa caixa de proteção, com o intuito de proteger a bateria durante acidentes e evitar casos de curto-circuito e deformações das células da bateria de lítio-íons, no entanto, essa caixa só aguenta pequenas deformações, pelo que a bateria não está protegida em caso de acidentes de

grandes dimensões, ainda que se preveja o desenvolvimento de células de lítio-íons e baterias mais seguras e que aguentam um nível maior de deformação.

A nível da segurança não se observa uma clara vantagem ou desvantagem dos VE face aos veículos convencionais, dado que a vantagem de não transportar combustíveis inflamáveis é colmatada com a desvantagem da existência de alguns perigos relacionados com o sistema elétrico, principalmente na bateria. É de realçar, no entanto, que se espera grandes desenvolvimentos da tecnologia envolvente, pelo que se espera também uma evolução dos aspetos de segurança.

2.1.2.4. TCO – *Total Cost of Ownership*

Com o objetivo de comparar os custos entre veículos elétricos e veículos convencionais tem sido aplicada a metodologia do Custo Total de Posse (*Total Cost of Ownership* - TCO). O TCO é uma função de diferentes parâmetros que inclui todos os custos de posse de um veículo desde que é adquirido (custo de aquisição, taxa de registo, financiamento) até ser vendido ou abatido (valor residual), incluindo os custos de operação durante o tempo de vida, como o imposto de circulação, manutenção, custo de seguro, custo de aluguer de bateria, custo de substituição da bateria e custo do combustível e eletricidade. A importância dos cálculos do TCO para os VE surge pelo facto dos seus custos iniciais serem elevados mas o custo de utilização ser menor, devido ao preço da eletricidade e à elevada eficiência do veículo (European Environment Agency, 2016; Lebeau et al., 2013; Sprei, Macharis, Leveau, & Karlstrom, 2014)

O custo de aquisição atual dos VE é significativamente maior que o dos convencionais a gasolina ou diesel. Esta diferença de preço pode dificultar a introdução dos VE no mercado, pelo que avanços tecnológicos e redução de custos sobre o valor do VE são benéficos para a adoção da mobilidade elétrica. Atualmente, a diferença estimada entre o TCO de um VE e de um veículo convencional é de 5000 a 20000 euros por veículo (durante 4 anos percorrendo cerca de 20000 km por ano), dependendo do modelo, do país, do preço do combustível e de outras variáveis. O principal fator do custo elevado nos VE é a bateria, no entanto, como resultado das economias de escala, o preço da bateria tem vindo a decrescer, ainda que não esteja suficientemente baixo para tornar o VE competitivo a nível de custos (McKinsey, 2014). Para um BEV, em 2017, na Europa, a bateria contribui em cerca de 55% do preço do veículo e estima-se que estes continuem com um preço de aquisição mais elevado durante os próximos 7 a 9 anos. Em 2030, espera-se que a percentagem de contribuição da bateria para o preço de um BEV seja entre 18 a 23% (Souloupoulos, 2017).

O TCO de um VE dificilmente compete com outras tecnologias de mobilidade. Contudo, há a possibilidade do TCO ser reduzido para os VE, de maneira que em alguns casos podem ser

a opção mais económica a escolher. Essa redução depende dos incentivos e subsídios governamentais, sendo assim afetado pelas políticas de cada país, como isenções de taxas de aquisição e redução do preço de eletricidade, mas também como medidas que aumentam o TCO dos veículos convencionais, como, por exemplo, elevadas taxas no preço dos combustíveis fósseis (Byrne & Pedro, 2016; European Environment Agency, 2016; McKinsey, 2014).

Segundo cálculos de Sprei et al. (2014) para o pior cenário, há 4 anos o TCO do VE era cerca de 43% superior ao de um veículo convencional, principalmente devido à depreciação e ao custo de substituição da bateria. Se se juntassem os subsídios governamentais, o custo de utilização do VE seria ainda 15% superior ao dos veículos convencionais. Se a depreciação do VE (que foi contabilizada neste cálculo como 28%) e os preços das baterias (cerca de 8000€ neste cálculo) diminuíssem, o TCO do VE poderia ser menor que o de um veículo convencional, dado que o preço da eletricidade é menor que o preço do combustível, seja diesel ou gasolina.

Outro estudo de TCO realizado por Lebeau et al. (2013) na Bélgica, envolvendo veículos a gasolina, diesel, HEV, PHEV e BEV de três segmentos (veículos urbanos, utilitários e *premium*), baseados em dados de condução e custos do país, demonstrou que as diferenças de TCO entre os tipos de veículos diminuíam conforme a evolução no segmento (de urbano para *premium*), em que os veículos convencionais apresentaram os TCO e custos por quilómetro menos elevados e os BEV e os PHEV apresentaram os valores mais elevados devido à depreciação e ao custo de substituição ou arrendamento da bateria.

Torna-se claro que a adoção a curto-prazo dos VE está dependente dos incentivos e da vontade do consumidor em pagar a diferença entre os tipos de veículos. Numa perspetiva de adoção em massa a longo-prazo, o decréscimo dos custos da bateria será um fator importante, estando a velocidade de adoção da mobilidade elétrica dependente dos desenvolvimentos do TCO do VE (fora as políticas de incentivo) e do TCO do veículo convencional (McKinsey, 2014; Lebeau et al., 2013).

2.2. A necessidade ambiental da adoção de um novo tipo de mobilidade

Como foi referido anteriormente, as questões que levaram a apostar recentemente na mobilidade elétrica, e que estão neste momento conduzir esta fase inicial de adoção, são sobretudo ambientais. Os efeitos da poluição atmosférica na saúde dos seres humanos e os efeitos das emissões de GEE no ambiente são as principais preocupações, sendo que o sector do transporte apresenta uma percentagem considerável como fonte poluidora. (McCubbin e Delucchi, 1999⁴;

⁴ McCubbin, D. R., Delucchi M. A. (1999). The health costs of motor-vehicle-related air pollution. *Journal of Transport Economics and Policy* 33, 253 – 286

Medley et al., 2002⁵, cit. por Sims et al., 2014). A nível ambiental, as principais preocupações são o aquecimento global, acidificação do oceano, impacto na vegetação, *smog* e poluição por ozono e a destruição da camada de ozono. Por esses motivos têm sido feitos muitos esforços para diminuir os níveis de poluição.

Assim, este subcapítulo pretende explorar brevemente o estado atual e, nalguns casos, a evolução dos níveis de poluição ao nível do globo e nas regiões mais relevantes para o tema, principalmente a UE, e perceber os impactos que a mobilidade elétrica poderá exercer nos níveis de poluição. Por fim, sublinhar também algumas políticas aplicadas para a redução dos níveis de poluição onde se inclui a mobilidade elétrica.

2.2.1. Poluição ambiental e o contributo do sector do transporte

Presentemente, o sector dos transportes depende do petróleo, sendo que cerca de 94% da sua energia provinha de produtos petrolíferos, segundo a IEA (2011b⁶, cit. por Sims et al., 2014), constituindo a principal fonte das emissões prejudiciais que afetam a qualidade do ar nas áreas urbanas (Sathaye et al., 2011⁷, cit. por Sims et al., 2014). Segundo Greenbaum (2013), a combustão dos combustíveis fósseis nos motores dos veículos convencionais produz várias emissões de substâncias potencialmente prejudiciais. Estas emissões não resultam apenas do processo de combustão, nem são emitidas apenas pelo tubo de escape dos veículos. Resultam também da combinação do esquema do motor e das características do combustível. O motor de combustão interna contribui em cerca de 25 a 40% para os seguintes gases e partículas poluentes: monóxido de carbono (CO); óxido de azoto (NOx); ozono (O₃); partículas (PM₁₀ e PM_{2.5}); e dióxido de azoto (N₂O).

Pelo menos até 2015, na Europa, as concentrações de PM₁₀ e PM_{2.5} e as concentrações de O₃ ultrapassavam largamente os valores limites da UE, sendo estes os poluentes mais prejudiciais para a saúde humana, juntamente com N₂O, na mesma região (European Environment Agency, 2017). As cidades, onde se observa uma elevada concentração da atividade económica e procura de serviços energéticos, tendem a experienciar concentrações de poluição atmosféricas mais prejudiciais (International Energy Agency, 2016). O sector do transporte

⁵ Medley A. J, C.-M. Wong, T. Q. Thach, S. Ma, T.-H. Lam, and H. R. Anderson (2002). Cardiorespiratory and all-cause mortality after restrictions on sulphur content of fuel in Hong Kong: an intervention study. *The Lancet* 360, 1646 – 1652.

⁶ IEA (2011b). *World Energy Outlook 2011*. International Energy Agency, OECD / IEA, Paris, 659 pp.

⁷ Sathaye J., O. Lucon, A. Rahman, J. Christensen, F. Denton, J. Fujino, G. Heath, S. Kadner, M. Mirza, H. Rudnick, A. Schlaepfer, and A. Shmakin (2011). *Renewable Energy in the Context of Sustainable Development*. In: IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA.

contribuiu em mais de 50% para as emissões de óxidos de azoto (NO_x), sendo a fonte principal das emissões na maioria dos países. O sector do transporte é também uma fonte importante das emissões de partículas, contribuindo em cerca de 10% para as emissões de PM_{2.5} relacionadas com a energia. Destes últimos poluentes, o transporte rodoviário é, sem dúvida, a maior fonte do sector do transporte, contribuindo em 58% das emissões de NO_x e 73% das emissões de PM_{2.5}.

O nível de emissões de GEE é uma questão muito discutida atualmente, principalmente relacionado com as alterações climáticas e os impactes negativos que estas poderão ter na população. As emissões de GEE têm apresentado um crescimento a nível global, registando um aumento de cerca 53% em 2014 em relação aos níveis de 1990. Em 2014 foi registado, segundo o World Resources Institute, um valor de 45741 Mt (em equivalente a CO₂). 78% desse valor tinha como fonte o sector energético, dos quais cerca de 21% provieram do transporte, sendo o transporte rodoviário o maior contribuinte. O mesmo subsector (transporte) apresentou um aumento da contribuição das emissões para o sector energético (sector que aumentou 55%) de cerca de 64% entre 1990 e 2014. O principal poluente dos níveis de emissões de GEE no globo é o dióxido de carbono, que em 2014 representava cerca de 76% das emissões. A China, EUA e os países da UE28 são as áreas que mais contribuem para esses níveis elevados, concentrando quase 50% das emissões. Nas mesmas áreas, grande parte das emissões deriva do transporte (Climate Data Explorer - World Resource Institute⁸), sendo verificados aumentos no subsector do transporte de 630%, 21% e 15%, respetivamente, entre 1990 e 2014.

2.2.2. Objetivos e medidas para a redução da poluição ambiental no sector do transporte

O mundo comprometeu-se a agir em direção a uma economia de baixo carbono, sendo vários os países que estão neste momento a implementar políticas para o transporte de baixo carbono, por vezes combinadas com medidas para melhorar a qualidade do ar (Comissão Europeia, 2017; International Energy Agency, 2016). Diferentes circunstâncias e objetivos levam a que se apliquem políticas para a promoção de novos combustíveis de forma a reduzir o uso de combustíveis fósseis, a poluição atmosférica e as emissões de GEE. Entre elas, as normas da eficiência do combustível e das emissões de GEE para os novos veículos na Europa e nos EUA, que dão muita importância aos PEV (Sims et al., 2014).

Os EUA e o Japão foram os primeiros países a estabelecer normas de economia de combustível. Em 1990, a Europa estabeleceu voluntariamente normas de emissões de CO₂ para veículos ligeiros de passageiros que obrigaram os fabricantes a melhorar a eficiência de

⁸ <http://cait.wri.org/>

combustível dos novos veículos (Euro 1), sendo que atualmente a Europa e o Japão detêm das frotas mais eficientes de novos veículos de passageiros. Como se pode observar na Figura 5, na qual estão presentes as normas estabelecidas à data de 2015 para as emissões de CO₂ e consumo de combustível para futuros novos veículos, tanto a UE como o Japão foram as áreas que apresentaram os menores níveis de emissões de CO₂ e de consumo de combustível em 2012. Através da mesma figura, conclui-se que, à data de 2015, a UE (para 2021), os EUA e Canadá (para 2025) e a Coreia do Sul (para 2020) apresentavam as normas de emissões e consumos de combustível mais reduzidas. As normas mundiais de emissões complementam a redução das emissões nos novos veículos de passageiros para uma média 95g CO₂/km e a redução de cerca de 50% do consumo de combustível para 2030 com base nos valores de 2005.

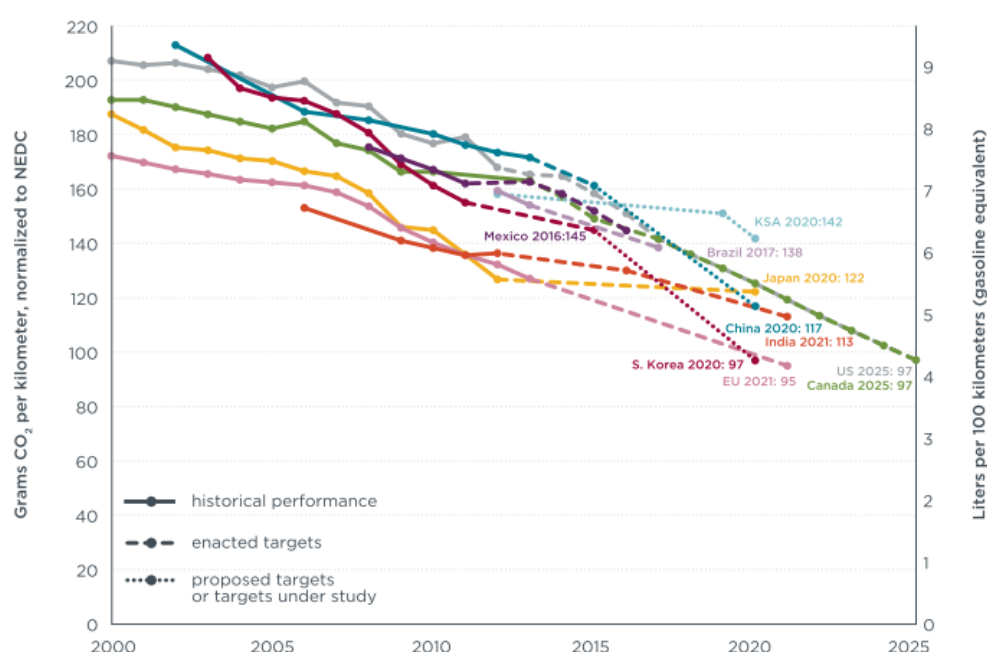


Figura 5 - Comparação de emissões de CO₂ e consumo de combustível e objetivos para a eficiência dos veículos ligeiros de passageiros.

Fonte: ICCT (2015).

Um sistema de mobilidade moderno constitui uma condição prévia para a transição bem-sucedida para uma economia hipocarbónica na Europa e para contrariar o aumento das emissões de gases com efeito de estufa e a poluição atmosférica causadas pelos transportes, apesar do aumento das necessidades de mobilidade. A Comissão Europeia tem um grande interesse e está bastante envolvida no desenvolvimento de planos estratégicos com o objetivo de difundir os VE com consciência dos benefícios para o ambiente e para a energia (Font, Brusaglino, & Van den Bossche, 2015), tendo sido desenvolvidas várias diretivas e estratégias onde se inclui essa temática, com intenções de que a UE se torne líder no combate às emissões e no desenvolvimento de novas tecnologias no sector do transporte.

Foi publicada, em 2016, a Estratégia Europeia de Mobilidade Hipocarbónica que refere que “até meados do século, as emissões de gases com efeito de estufa provenientes dos transportes terão de ser, pelo menos, inferiores em 60% às registadas em 1990 e estar seguramente a caminho de taxas nulas de emissões” e de que as emissões de poluentes aéreos provenientes do sector do transporte teriam de ser drasticamente reduzidas (Comissão Europeia, 2016, p.2). As estratégias incluem a utilização de combustíveis alternativos e veículos com baixas emissões, com a implementação de infraestruturas para efeito e interoperabilidade e normalização para a mobilidade elétrica. O objetivo referido já havia sido definido em 2011 no Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050 (Comissão Europeia, 2011b) e no Livro Branco - Roteiro do espaço único europeu dos transportes (Comissão Europeia, 2011a), de modo a contribuir no objetivo global em reduzir as emissões desses gases em 80 a 95% em 2050 (European Environment Agency, 2016). No Livro Branco foram definidas 10 etapas principais, onde se incluiu “reduzir para metade o número de veículos automóveis de motorização convencional utilizados no transporte urbano até 2030, retirá-los de circulação nas cidades até 2050, e descarbonizar, no essencial, a logística nos grandes centros urbanos até 2030.” (Comissão Europeia, 2011a, p. 11). No mesmo documento definiram-se também estratégias de inovação e disseminação, onde se incluiu projetos de demonstração de mobilidade elétrica, incluindo a infraestrutura de recarga e sistemas de transporte inteligentes, especialmente centrados nas zonas urbanas.

No entanto, segundo a Comissão Europeia (2017b), até à data os resultados em direção ao objetivo da redução das emissões em 2050 têm sido parcos, sendo necessário acelerar esforços para inverter esta trajetória, afigurando-se necessária uma transição para veículos com taxas nulas de emissões. A Comissão Europeia, em 2017, propôs novos objetivos para as emissões de dióxido de carbono de novos veículos de passageiros e mercadorias da frota da UE com vista a acelerar a transição para os veículos com baixas ou zero emissões, uma vez que as normas para a redução das emissões de dióxido de carbono em vigor na Europa têm representado uma ferramenta de incentivo para a inovação e investimento em tecnologias de baixo carbono (Comissão Europeia, 2017a). Já em 2016, a estratégia para uma mobilidade de baixo carbono publicada pela Comissão Europeia (2016) deixara claro que o desenvolvimento e introdução de veículos com zero e baixas emissões teria de aumentar de forma a obter uma quota de mercado significativa até 2030 e estabelecer a UE na trajetória de longo prazo para a mobilidade de zero emissões. Para o mesmo ano é esperada uma redução em pelo menos 30% das emissões de GEE comparativamente aos valores de 2005.

2.2.3.O contributo da Mobilidade Elétrica para a redução da poluição/melhoria do ambiente

Segundo Sims et al. (2014), a mudança para a mobilidade elétrica é uma das estratégias com o objetivo de interferir com a poluição atmosférica local, tendo a possibilidade de reduzir as emissões de dióxido de carbono e de carbono negro. A redução das emissões de poluentes aéreos também é um fator importante de incentivo à adoção da mobilidade elétrica em áreas urbanas bastante poluídas. Nessas áreas, onde a população está muito exposta às emissões de poluentes aéreos, a diminuição dos veículos convencionais e da queima de combustível e o aumento de VE leva a uma significativa redução das emissões de CO₂ e de poluentes aéreos numa perspetiva TTW (*Tank-to-Wheel*). No entanto, dependendo da mistura da geração de eletricidade, estes efeitos positivos serão parcialmente compensados com o aumento das emissões no sector energético causado pela procura de eletricidade pelos VE (Kasten, Bracker, Haller, & Purwanto, 2016). A mudança para combustíveis menos poluentes é especialmente relevante para reduzir as emissões de NO_x (poluente originário, em grande parte, das emissões provenientes do sector do transporte).

Como foi possível observar aquando da comparação entre os VE e os veículos convencionais a nível de impacto ambiental, a adoção da mobilidade elétrica tem um elevado potencial de mitigação dos GEE, especialmente das emissões de CO₂ e a longo termo. É estimado que o potencial de redução das emissões pela massificação dos BEV seja de 62% e dos PHEV de 25 a 40% (AEA et al., 2010⁹; King, 2007¹⁰, cit. por Schrotten, 2012). Segundo os estudos de Kasten et al. (2016), uma penetração de VE no mercado em cerca de 80% poderá levar a uma redução das emissões de CO₂ e dos poluentes atmosféricos em mais de 80%.

O estudo de Timmers & Achten (2016) indica que os VE apresentam pequenos efeitos nos níveis de partículas, um dos poluentes mais problemáticos para a saúde do ser humano, uma vez que as partículas, além das emissões de escape que os VE não emitem, também proveem de emissões de abrasão, ou seja, do desgaste dos pneus, da travagem e da ressuspensão da poeira que existe no pavimento. Os níveis de emissões PM₁₀ (partículas com diâmetro inferior a 10 µm) nos VE são consideradas iguais às dos veículos convencionais. Já as emissões de PM_{2.5} (diâmetro inferior a 2.5 µm) foram registadas como 1 a 3% inferiores em comparação com os veículos convencionais modernos. Valores idênticos são observados nos estudos em Madrid e Barcelona de Soret, Guevara, & Baldasano (2014).

Em suma, os veículos eletrificados são essenciais para a redução das emissões poluentes, sendo veículos de combustíveis alternativos que potenciam uma transição no sector do transporte.

⁹ AEA et al., 2010. EU Transport GHG: Routes to 2050?: Towards the decarbonization of the EU's transport sector by 2050 London : AEA, 2010

¹⁰ King, 2007. The King Review of low-carbon cars Part 1: the potential for CO₂ reduction. London.

Contudo, os veículos eletrificados não resolvem totalmente todos os problemas (European Environment Agency, 2015) e essa transição poderá ser complexa e demorada, dependendo de vários fatores.

2.3. A transição para uma mobilidade inteiramente elétrica

Os veículos propulsionados por um motor de combustão interna têm sido a solução tecnológica que domina a indústria automóvel e modela a organização do sistema de transporte a nível global (Altenburg, 2014). Enquanto que qualquer tipo de veículo elétrico híbrido pode ser interpretado como uma evolução, uma vez que não excluem o sistema convencional, o veículo elétrico puro (BEV) aponta para uma mudança paradigmática no sistema de transporte, podendo ser caracterizado como uma inovação radical e/ou disruptiva (Weider and Rammler, 2011, p. 6 cit. por Augenstein, 2015).

Apesar dos fortes argumentos que têm vindo a motivar a adoção da mobilidade elétrica, o processo de transição para uma mobilidade inteiramente elétrica (BEV) é algo complexo e demorado que requer iniciativas políticas de vários tipos (Greene, Park, & Liu, 2014). Segundo Gallagher, et al. (2012¹¹, cit. por Greene et al., 2014), a complexidade reside do requerimento de uma mudança energética (preferencialmente uma transição dos combustíveis fósseis para as energias renováveis como fonte primária de geração de energia) que levará décadas, com os impactos a permanecerem por décadas.

No entanto, o sistema da mobilidade elétrica vai muito além de aspetos técnicos e uma transição para esse tipo de mobilidade deve ser encarada como um processo socio-tecnológico (Grauers et al., 2013). Segundo Altenburg (2014), até à data tinha sido observada uma lenta mudança para a mobilidade elétrica, sendo que a adoção dessa nova tecnologia pode ser (tradicionalmente) descrita por uma curva de frequência acumulada em S, modelo assumido para a tradução da evolução do mercado de veículos elétricos, como é possível observar na Figura 6. Rogers (1995¹², cit. por Figenbaum & Kolbenstvedt, 2015) identificou 5 grupos de utilizadores com características pessoais e socioeconómicas diferentes: *Early users* (Innovators), os primeiros a adotar e a utilizar a inovação; *Early adopters*; *Early majority*; *Late majority*; e *Laggards*. Os *innovators* e os *early adopters*, grupos de transição que se encontram atualmente na maior parte dos países, revelam-se muito importantes na transição, uma vez que estes influenciam o mercado de VE na medida em que reduzem o risco de aversão da maioria dos restantes consumidores. Por

¹¹Gallagher, K.S., A. Grübler, L. Kuhl, G. Nemet and C. Wilson, 2012. “The Energy Technology Innovation System”, Annual Review of Environment and Resources, pp. 137-162.

¹² Rogers, E.M. (1995). Diffusion of Innovations. ISBN 0-7432-2209-1. New York, Free Press.

sua vez, o aumento da venda de veículos leva a uma maior diversidade de escolha e por conseguinte a um aumento no excedente do consumidor, assim como a disponibilização de infraestruturas de carregamento aumenta o valor do VE para os seus utilizadores e potenciais utilizadores (Greene et al., 2014).

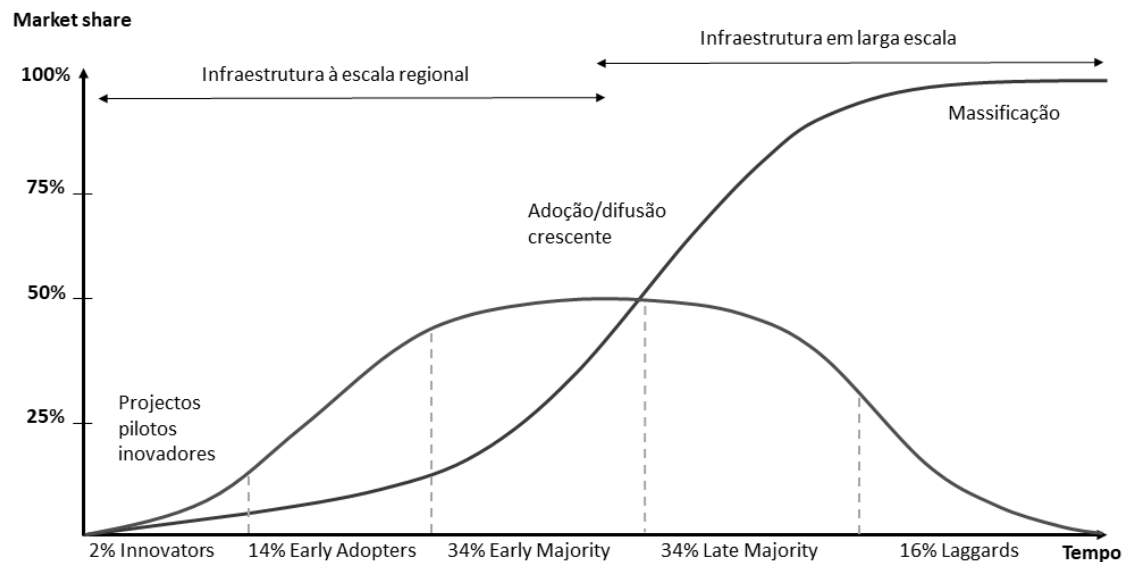


Figura 6 - Perspetiva de evolução do mercado de veículos elétricos com base no modelo de evolução de uma nova tecnologia.

Fonte: Adaptado de Figenbaum & Kolbenstvedt (2015) CE et al. (2011 cit. por Schrotten, 2012) e International Energy Agency (2017).

Segundo McKinsey (2014), e como já foi referido anteriormente neste capítulo, apesar de serem vários os fatores que contribuem para a decisão de adquirir um VE, existem 3 principais motivos:

- **Redução da pegada de carbono** – a redução da própria pegada de carbono constitui uma motivação para os consumidores ambientalmente conscientes comprarem um VE. Alguns consumidores estão dispostos a pagar a diferença no preço inicial (em comparação com os veículos convencionais) por um veículo de zero ou baixas emissões;
- **Benefícios de uso ou de condução** – A existência de benefícios adicionais, oferecidos aos utilizadores de VE por vários governos ou cidades, estimulam a venda de veículos eletrificados;
- **Redução de custos** – como já foi referido, sem os benefícios os VE são significativamente mais caros que os veículos convencionais. No entanto, como resultado dos benefícios governamentais para os utilizadores (isenção do imposto de circulação, entre outros), alguns VE poderão ser mais baratos que o mesmo modelo com motor de combustão interna, pelo que os utilizadores que procuram uma solução

de mobilidade mais barata tendem a beneficiar deste tipo de regulações e adquirir um VE.

O processo da transição para a mobilidade elétrica é caracterizado por incertezas socio-tecnológicas que poderão dar origem a barreiras, uma vez que essas incertezas levam a população a rejeitar os VE. As principais incertezas são:

- **A tecnologia dos veículos** – Não tem que ver com a tecnologia em si mas com a perceção por parte da sociedade dos seus potenciais, principalmente direcionado à bateria, devido à sua durabilidade, autonomia e tempo de carregamento. A ansiedade de ficar sem autonomia durante a viagem (*range anxiety*) pode resultar numa barreira para alguns potenciais utilizadores, por pensarem que estes são inferiores aos veículos convencionais (Berkeley, Bailey, Jones, & Jarvis, 2017; Van Der Steen et al., 2012). Nesta vertente, não tanto a nível social, também a incerteza das direções do progresso tecnológico têm um peso importante (Greene et al., 2014);
- **O sistema de suporte** – a transição aqui falada exige o desenvolvimento de todo um sistema de suporte: serviços de manutenção e reparação; disponibilidade de infraestruturas de carregamento; gestão da rede de eletricidade, entre outros. Todas estas questões poderão suscitar dúvidas à população, que poderá entender que o sistema só poderá ser credível e economicamente viável quando todas as condições que o compõem tenham sido atingidas (Van Der Steen et al., 2012);
- **A própria substituição da mobilidade atual** – a transição para uma mobilidade elétrica tem o potencial de substituir a mobilidade assente no petróleo, o que nas áreas fortemente dependentes na indústria automóvel tradicional pode causar preocupação e renitência (Van der Steen et al., 2012). Além disso, a resistência à mudança no sistema de transporte está também associada à existência dos hábitos e acomodação de utilização do transporte privado também assente no petróleo (Nykvist & Whitmarsh, 2008).

Segundo Greene et al. (2014), as barreiras referidas da mobilidade elétrica podem ser reduzidas aumentando o conhecimento do processo e das barreiras de transição e por uma reavaliação periódica e adaptação com base no que foi aprendido. As limitações do conhecimento atual e das ferramentas analíticas, juntamente com a incerteza dos mercados e tecnologias fazem com que seja difícil prever o futuro quanto a esta transição. Um dos problemas é o longo período de tempo entre o momento de investimento e a geração de retorno. Os investimentos na investigação e desenvolvimento e em novas infraestruturas deve ser feito a curto prazo, mas esse investimento só será recuperado a longo prazo (Van Der Steen et al., 2012).

A mobilidade elétrica deve ser desenvolvida numa arena que envolve muitos atores e ações a fim de fazer progressos (Van Der Steen et al., 2012), isto é, são necessárias mudanças conectadas em tecnologia, mercados, modelos de negócio, economia, governos, indústria, cultura e sociedade que interagem entre si e co evoluem (Grauers et al., 2013; Nascimento, 2013). Assim, baseando-se principalmente em Dijk et al. (2013), o futuro da mobilidade elétrica depende, além das já discutidas políticas ambientais aplicadas no sector do transporte e políticas de incentivo, de vários desenvolvimentos nos seguintes temas:

- **Infraestruturas de carregamento** – os veículos elétricos com bateria requerem o desenvolvimento e distribuição dos postos de carregamento, uma vez que a sua difusão depende em grande parte da existência destas infraestruturas. A maior parte dos postos instalados atualmente foram iniciativa dos governos com ou sem incentivos a nível regional, no entanto, a insurgência de um mercado de infraestruturas, mantendo a interoperabilidade, é importante e eminente. Este ponto revela-se muito importante para o caso de estudo em questão;
- **Mobilidade** – a mobilidade elétrica depende das mudanças nos padrões de mobilidade, sendo o surgimento dos operadores de mobilidade e de sistemas de intermodalidade dois desenvolvimentos importantes que influenciam a mobilidade elétrica (chamados *drivers*), ao incluírem VE nas suas frotas, por encontrarem vantagens a nível de custos de operação e manutenção;
- **Regime global da indústria automóvel** – atualmente já se observam desenvolvimentos direcionados à mobilidade elétrica, ao passo que são feitas mudanças no regime global da indústria automóvel, tanto ao nível dos tamanhos de mercado, como ao nível do foco tecnológico. É notável o crescimento do mercado automóvel tradicional nos países em desenvolvimento (BRICS¹³ e também N11¹⁴) enquanto os mercados na Europa, EUA e Japão não apresentam grande crescimento. Na Europa, EUA, e Japão, bem como nalguns países em desenvolvimento (a China em especial), tem se assistido à eletrificação dos veículos, resultado da colaboração entre a indústria, academia e os vários governos, levando à investigação e desenvolvimento de componentes e técnicas relacionadas, bem como mudanças na coordenação e colaboração das várias indústrias fabricantes;
- **Preços da energia** – a mobilidade elétrica irá beneficiar bastante do aumento nos preços de produtos petrolíferos previsto nas próximas décadas, devido aos custos de exploração de petróleo não convencional (como areias petrolíferas), grande procura

¹³ Brasil, Rússia, Índia, China e África do Sul

¹⁴ Bangladesh, Egito, Indonésia, Irão, México, Nigéria, Paquistão, Filipinas, Coreia do Sul, Turquia e Vietnam.

por parte de países como China e Índia e a escassez do recurso. Ao mesmo tempo, as políticas de baixo carbono trarão custos adicionais aos combustíveis à base de carbono;

- **Sector da eletricidade** - este sector será afetado e afetará a penetração de veículos elétricos. Os BEV e PHEV poderão apoiar o crescimento esperado nas tecnologias de energias renováveis, dado que esse tipo de energia requer o armazenamento de eletricidade, para o qual as baterias desses veículos podem ser usadas, servindo como uma reserva de energia. Adicionalmente, os VE exigem uma redefinição do sistema da rede, com o potencial de reduzir as ineficiências e as flutuações por aumentarem a procura nas horas fora de pico. Há também uma relação entre os BEV e uma rede inteligente, que terá de ser desenvolvida (Van Der Steen et al., 2012). Quanto maior a integração desses veículos nas redes do género, maior a quantidade de dados e informação são disponibilizados e acedidos pelas entidades gestoras, criando novas oportunidades de integração do sector na indústria automóvel e o posterior desenvolvimento da competição e estratégias de negócio dos fabricantes automóveis.

Em contraste com as outras tentativas de prosperar, e como foi referido, os VE já estão a beneficiar de grandes desenvolvimentos, principalmente da tecnologia de armazenamento, aumentando a competitividade dos VE face aos veículos com o sistema de propulsão convencional. Segundo Altenburg (2014), a mobilidade elétrica tem recebido muita atenção e suporte público. As empresas de automóveis pelo mundo estão a investir bastante na propulsão elétrica, os fornecedores de baterias estão focados na indústria automóvel e os governos tornaram-se grandes apoiantes da mobilidade elétrica (Dijk et al., 2013). Entre 2008 e 2014 foram investidos entre 13 a 16 mil milhões de dólares em políticas e incentivos designados para estimular o mercado e assegurar que os BEV são competitivos a nível de custos em relação a outro tipo de veículos (Berkeley et al., 2017). Tudo isto sugere que o desenvolvimento da ME passou um limite crítico, apontando para uma futura evolução positiva.

2.4. Perfil de utilizador e o perfil de utilização dos pontos de carregamento

Como foi referido, o desenvolvimento dos veículos elétricos passará por várias fases de adoção até ser um tipo de veículo massificado, abrangendo toda a população. Neste momento, a maioria dos países encontra-se na fase de *innovators* ou *early adopters*, cada uma com população característica, embora idêntica. Para se obter um conhecimento específico acerca do utilizador de veículos elétricos (UVE) atual procedeu-se à caracterização do perfil de utilizador. O mesmo foi

realizado para o perfil de condução e carregamento, que têm bastante importância na otimização das redes de postos de carregamento.

2.4.1. Perfil de utilizador

Na generalidade, tendo em conta o número de PEV vendidos atualmente, considera-se que o número de estudos realizados com o objetivo de identificar as características dos UVE é bastante limitado. Grande parte dos estudos foram realizados na Noruega, o que não se poderá deixar de relacionar com o estado de adoção particularmente avançado relativamente aos outros países.

Num relatório de resultados no âmbito do projeto COMPETT, que tem como objetivo investigar várias questões relacionadas com a ME e em que foram entrevistados 1721 UVE noruegueses e 34 UVE austríacos, além de 7860 outros indivíduos da Noruega, Dinamarca e Áustria que possuem veículos convencionais. Segundo este estudo, o típico UVE na Noruega em 2014 foi relatado como sendo do sexo masculino, empregado e com idade entre 35 e 54 anos, possuindo mais do que um veículo (Figenbaum, Kolbenstvedt, & Elvebakk, 2014).

Também na Noruega, o estudo de Haugneland & Kvisle (2013) apresenta e analisa os resultados de uma investigação ao utilizador do veículo elétrico entre 2012 e 2013. Em 2013, 1858 utilizadores participaram na investigação, sendo 75% do sexo masculino, na sua maioria entre 36 e 45 anos de idade. Cerca de 85% dos indivíduos têm dois ou mais carros no seu agregado familiar. O agregado familiar é comumente constituído por 4 pessoas (33%), sendo que a percentagem em que o agregado familiar é de duas ou mais pessoas é de 94%. O utilizador típico possui um rendimento significativamente maior que a média na Noruega e a maioria tem educação ao nível do ensino superior (77%). Os autores concluíram que o típico utilizador norueguês é um indivíduo de meia idade, com família, educação superior e rendimentos elevados e possui um veículo elétrico como um de dois carros.

Nos EUA, a CarMax, juntamente com a CleanTechnica realizaram um inquérito a cerca de 2300 indivíduos com o objetivo de conhecerem os seus estilos de vida e as suas experiências como proprietários de VE¹⁵. Os resultados revelaram que 93% dos inquiridos eram do sexo masculino, 66% tinham entre 30 a 59 anos e cerca de 70% possuem um nível de educação superior. Características idênticas aos dados disponibilizados pela California Clean Vehicle Rebate Project¹⁶ de 2012 a 2015, de cerca de 11 mil inquiridos dos EUA, onde consta que 86%

2018 ¹⁵ <https://www.carmax.com/articles/hybrid-electric-2017-survey-results>, acedido a 07 de abril de 2018

¹⁶ <https://cleanvehiclerebate.org/eng/survey-dashboard/ev>, acedido a 09 de abril de 2018

da amostra possuía educação ao nível do ensino superior, 77% eram do sexo masculino e 76% tinham idades entre 35 e 64 anos (35 a 44 anos – 26%; 45 a 54 anos – 30%; 55 a 64 anos – 20%).

Outros estudos de identificação de UVE, como o da Deloitte (2011) suportado num inquérito que abrangeu 13000 indivíduos de 17 diferentes países, Campbell, Ryley, & Thring (2012) no Reino Unido, Kodjak (2012) e Singer (2016) nos EUA, Plotz, Schneider, Globisch, & Dutschke (2014) na Alemanha, Axsen, Goldberg, & Bailey (2016) no Canadá e Hjorthol (2013), que analisa vários estudos na Noruega, confirmam os detalhes dos estudos referidos anteriormente, o que confirma a definição sociodemográfica de *early adopter* descrita em Figenbaum & Kolbenstvedt (2015). O típico UVE é então um indivíduo do sexo masculino, empregado, com idade entre os 35 e os 60 anos, com mais de um veículo no agregado familiar, em que o agregado familiar é composto por 2 ou mais pessoas (comumente constituído por 3 ou 4 pessoas), educação ao nível do ensino superior e rendimentos elevados. Axsen et al. (2016) acrescenta que o perfil de UVE está a mudar à medida que os mercados de PEV se desenvolvem, como, aliás, se postula na curva de adoção e também refere Figenbaum et al. (2014) acerca do caso da Noruega. Os autores referem que, no mercado norueguês, as diferenças entre os UVE e a população em geral estão a diminuir, especialmente no que toca ao género. Como referido anteriormente, a Noruega é o país onde a ME está mais presente e, segundo Figenbaum & Kolbenstvedt (2015), encontra-se na fase de *early majority*, sendo que os adotantes dessa fase estão conectados aos *early adopters* e apresentam características idênticas.

2.4.2. Perfil de condução e de utilização dos pontos de carregamento

Ao contrário do perfil de utilizador, são vários os estudos que envolvem a caracterização da utilização do veículo elétrico e da utilização dos postos de carregamento. Tratam-se, na sua maior parte, de estudos sobre o consumo de eletricidade, principalmente acerca do impacto do carregamento dos VE. Muitos desses utilizam modelos para simular o comportamento dos UVE e/ou utilizam dados estatísticos da utilização de veículos convencionais para o mesmo efeito. No entanto, os comportamentos de condução dos UVE são suscetíveis a ser muito diferentes dos comportamentos de condução dos veículos convencionais, uma vez que serão determinados principalmente pelo recarregamento das baterias e os requerimentos da gestão do recarregamento. (Azadfar, Sreeram, & Harries, 2015). Assim sendo, os resultados estatísticos de dados reais acerca da utilização do veículo elétrico é um ponto chave no desenvolvimento de estudos relacionados (Corchero, 2015). Nesta parte são apresentados dados reais de vários artigos e alguns projetos desenvolvidos, com o objetivo de tipificar os perfis de condução de VE e de utilização dos pontos de carregamento.

É o caso do estudo de Schauble, Kaschub, Ensslen, Jochem, & Ensslen (2017), que pretendeu analisar e discutir as características de mobilidade e carregamento através de dados recolhidos de três estudos de mobilidade elétrica na região de sudoeste da Alemanha (eReady, iZEUS e CROME). Os autores criaram perfis de procura de eletricidade e mostram como a gestão de carregamentos pode afetar esses perfis, assim como a potência de carregamento. No total foram utilizados dados de cerca de 29 mil carregamentos.

A distribuição semanal das operações de carregamento é relativamente idêntica nos três estudos, mantendo-se nos 15 a 20% diariamente, no entanto, durante o fim de semana a percentagem de carregamentos é significativamente mais baixa. Em média, um VE é carregado a cada terceiro ou quarto dia, mais precisamente, 0,29 vezes por dia, e normalmente um VE apenas efetua um carregamento num dia. Os VE estacionam e carregam em localizações maioritariamente privadas, durante a noite (60%) e durante o trabalho. O Parqueamento público é assim reduzido, ainda que represente 15%. Relativamente ao estado de carregamento inicial (*State of Charge - SOC*), esse valor é seguramente em média superior a 50%, o que significa que normalmente os VE são carregados ainda com uma quantidade considerável de energia armazenada. Assim, a maioria das operações de carregamento requerem menos de 20 kWh devido ao elevado valor inicial de SOC, mas também devido à pequena capacidade das baterias da maior parte dos veículos, como referem os autores. Segundo Schauble et al. (2017), baseado em cerca de 6000 carregamentos, a duração do processo de carregamento é maior quando este é iniciado ao fim da tarde do quando é iniciado de manhã. A maior parte dos veículos estão completamente carregados no fim do parqueamento.

Com base na investigação já referida na caracterização do UVE (Haugneland & Kvisle, 2013), em que foram inquiridos 1858 utilizadores, os autores referem que as pessoas usam o VE maioritariamente nas viagens casa-trabalho, compras e atividades depois do trabalho, sendo que na grande maioria (87%) o VE substitui o veículo convencional. A maior parte dos inquiridos (95%) tem possibilidade de carregar o VE em casa e 59% tem possibilidade de fazê-lo no trabalho, sendo que apenas 11% usa os pontos de carregamento públicos diariamente, 28% semanalmente e 35% com pouca regularidade. 51% dos inquiridos referem que usarão o carregamento rápido em viagens longas durante o fim de semana e férias. Cerca de 30% considera ainda a utilização desses postos em locais enquanto fazem compras, vão ao restaurante, entre outras atividades, e para quando há uma necessidade urgente de carregamento.

Robinson et al. caracteriza o comportamento de carregamento de uma amostra de utilizadores de veículos elétricos no Nordeste de Inglaterra. No total foram analisados 31765 viagens e 7704 operações de carregamento. A amostra divide-se em 12 UVE privados, 21 VE utilizados em privado, mas que pertencem a organizações, e 32 veículos partilhados pertencentes

a organizações. Em média cada viagem dos UVE privado foi de 11,6 km, dos utilizadores individuais da organização de 10,3 km e dos VE partilhados foi de 7,6 km. O local de trabalho foi a localização onde se efetuaram mais carregamentos, seguido pelo carregamento público e pelo carregamento em casa. Em média, a duração do carregamento foi entre 3,2h (utilizador privado) e 2,9h (VE partilhado), não havendo diferenças significativas por localização (Robinson, Blythe, Bell, Hübner, & Hill, 2013). Segundo os mesmos autores, 11% dos carregamentos teve lugar no trabalho, de manhã, sendo o período de carregamento mais frequente. O carregamento em casa e noutras localizações tiveram maior utilização ao fim da tarde/início da noite.

O estudo de Corchero mostra os padrões de condução e de carregamento resultantes de uma larga coleção de dados de veículos elétricos e pontos de carregamento monitorizados ao longo de três anos, de 2011 a 2013, em várias regiões europeias: Madrid, Málaga, Ataún e Barcelona, Espanha; Estrasburgo, França; Estugarda e Berlim, Alemanha; Itália; Budapeste, Hungria; Copenhaga e Bornholm, Dinamarca; Malmo, Suécia; e Irlanda. No total foram registadas 140 mil viagens e mais de 230 mil carregamentos de veículos ligeiros, autocarros, motociclos, tanto BEV como PHEV. No estudo em questão os dados são apresentados dos BEV ligeiros de passageiros, que representam 81% da amostra total, bem como dados de pontos de carregamento normais, 95% da amostra total. A maioria dos veículos pertencem a UVE privados (63%) e aproximadamente 62% dos VE são utilizados no contexto de trabalho (Corchero, 2015).

Os autores analisaram que cerca de 75% dos veículos percorreram uma distância diária de 47 km. A distância média percorrida entre carregamentos é entre 20 km a 50 km (sendo assim realizado um carregamento por dia), dependendo do uso do veículo. Em média, o SOC antes da operação de carregamento é de cerca de 60%, semelhante ao referido por Schauble et al. (2017). O consumo médio de energia por carregamento corresponde a 7,08 kWh. A distribuição do início do carregamento dos utilizadores privados apresenta uma maior frequência à tarde, principalmente quando acaba o dia de trabalho. A distribuição das frotas pertencentes aos municípios mostra uma distribuição bimodal, com picos de manhã e ao fim da tarde. Já os VE privados pertencentes a empresas privadas apresentam uma distribuição homogénea, embora com um pico de manhã. Em média os VE estão conectados ao ponto de carregamento cerca de 5 horas, no entanto, o carregamento em si é efetuado em média em 2h 20min (48% do tempo de conexão). Os autores concluíram ainda que apenas 29% das operações tiveram lugar nos pontos públicos, com uma utilização diária de 37%. Os carregamentos no trabalho foram os mais recorrentes, com 40%, utilização diária de 17%, e os carregamentos na residência 31%, com uma utilização diária de 15%.

Franke e Krems tiveram o objetivo de compreender a dinâmica psicológica subjacente à utilização de postos de carregamento e determinar a aplicabilidade do conceito UBIS (*User-*

battery interaction style; estilo de interação entre o UVE e a bateria). A amostra recolhida para o âmbito concentra dados de 79 utilizadores na área metropolitana de Berlim. A distância média diária semanal percorrida pelos utilizadores foi de 38 km (DP = 20 km). Acerca dos carregamentos, que os utilizadores consideraram convenientes, a média de carregamentos por semana por utilizador é de 3,1 (DP = 1,5), sendo que maioria dos carregamentos foi efetuado em postos de carregamento privados (83,7%) e apenas 4,8% foram realizados em postos de carregamento públicos. A maioria dos utilizadores (66%) iniciaram o carregamento com um SOC em média superior a 40% e os restantes iniciaram o carregamento com um SOC associado aos avisos de bateria (30% e 10%) (Franke & Krems, 2013).

O programa *Plugged in Places* foi estabelecido pelo governo do Reino Unido em 2010 com o objetivo de distribuir infraestruturas de carregamento públicas por oito regiões do Reino Unido (Office for Low Emission Vehicles, 2013), designado como um programa de aprendizagem, tendo sido estabelecido que os dados de utilização dos pontos de carregamento seriam registados e disponibilizados à indústria. Os dados, recolhidos em dezembro de 2012, englobam 39525 carregamentos desde agosto de 2010 a dezembro de 2012. No relatório resultante da análise desses dados (Office for Low Emission Vehicles, 2013), refere-se que apesar dos pontos públicos localizados em áreas residenciais serem o menor número (apenas 4%), 16% dos carregamentos ocorreram nessas localizações, atribuindo à mesma uma taxa de utilização superior. Os locais onde se verificaram um maior número de carregamentos foram nos locais públicos (76% dos carregamentos conhecidos), dado que 82% dos pontos amostrais são deste tipo. Nos pontos localizados em locais de trabalho, que representam 14% dos pontos conhecidos, ocorreram 9% dos carregamentos. É de referir que 27% dos carregamentos ocorreram em locais desconhecidos.

Segundo o mesmo relatório, a maioria dos carregamentos nos locais de trabalho e locais públicos tiveram início durante o dia. No primeiro caso, verificaram-se picos de manhã, ao meio dia e a meio da tarde, e no segundo caso verificou-se um pico de manhã. Diferenciando-se dos locais anteriormente referidos, a maior parte dos carregamentos nos locais de residência tiveram início ao final da tarde/início da noite, mas com alguma utilização também de manhã e à tarde. Ao fim de semana a utilização é abaixo dos 10%, no caso dos pontos nos locais de trabalho a utilização no fim de semana situa-se abaixo dos 5%. Em média, um veículo esteve conectado cerca de 5h ao ponto de carregamento.

Em Victoria, Austrália, foi realizado um ensaio que envolveu 70 participantes corporativos e 120 agregados familiares utilizando dois VE (Mitsubishi i-MiEV e o Nissan Leaf) para caracterizar o mercado de VE no mesmo local (Department of Transport, 2013). Os resultados indicam que os VE pertencentes a frotas percorreram em média 22 km por dia, inferior aos quilómetros médios diários percorridos pelos UVE privados (32 km). Em média a distância

percorrida entre carregamentos foi entre 34 km (i-MiEV) e 36 km (Leaf), sendo que em média o SOC quando conectado ao ponto de carregamento foi superior a 50% nos dois VE, com um valor mais elevado para o primeiro (57,5% e 52%, respetivamente). No caso dos UVE privados, verificou-se um maior número de carregamentos ao final do dia/início da noite, ao contrário do observado no caso dos VE pertencentes a frotas, onde se observa uma utilização a partir da manhã, com uma utilização máxima à tarde, sem carregamentos durante a noite. Em média cada VE foi carregado cerca de 0,5 vezes por dia, ou seja, a cada dois dias.

Segundo o relatório no âmbito do projeto COMPETT, em que foram entrevistados 1721 UVE noruegueses e 34 UVE austríacos, a maioria dos entrevistados (97%) carregam o veículo em casa. 60% carregam diariamente, 20% 3 a 5 vezes por semana e 17% 1 a 2 vezes por semana. 50% carregam o veículo com regularidade no local de trabalho. Os restantes utilizam menos frequentemente, sendo que 33% nunca carrega no local de trabalho. Assim, os utilizadores utilizam os postos públicos menos frequentemente, apenas 23% utilizam no máximo 2 dias por semana, os restantes utilizadores utilizam no máximo 2 dias por mês. 40% dos utilizadores nunca utilizam o carregamento rápido e em média, os UVE que utilizam, fazem-no 14 vezes por ano.

Um dos maiores projetos de implantação e avaliação de veículos elétricos e de infraestrutura de carregamento nos EUA protagoniza uma elevada quantidade de informação útil para o tema. O “EV Project – Plug-in Electric Vehicle Charging Infrastructure Demonstration”¹⁷ é um projeto realizado pelo Idaho National Laboratory em parceria com a Electric Transportation Engineering Corporation (ETEC), Nissan, General Motors, e mais de 10000 governos a nível da cidade, regionais e estatais, entre outras organizações e membros do público em geral, no desenvolvimento de mais de 12000 pontos de carregamento normais e mais de 100 pontos de carga rápida em 20 áreas metropolitanas dos EUA. O projeto consiste também na recolha e análise de dados dos veículos e infraestrutura de carregamento de início de 2011 ao final de 2013. Os dados concentram cerca de 4 milhões de carregamentos das seguintes áreas nos EUA: Seattle, no estado de Washington; Portland, Eugene, Corvallis e Salem em Óregon; Los Angeles e San Diego, na Califórnia; Phoenix e Tucson, no Arizona; Dallas, Fort Worth e Houston, no Texas; Nashville, Knoxville e Chattanooga, no Tennessee; e Washington, Distrito de Colúmbia.

O relatório do ano de 2011 (Idaho National Laboratory, 2014a) concentra dados de 3126 veículos, 3618 pontos de carregamento e de cerca de 284428 carregamentos efetuados nos locais referidos acima, dos quais 98% foram efetuados em domínio residencial privado. A nível geral, durante a semana, houve uma maior utilização dos postos de carregamento durante a noite (mais de 40%). Ao fim de semana verifica-se o mesmo padrão, embora com menos intensidade. Dado que grande parte da amostra é influenciada por um contexto de carregamento residencial, o padrão

¹⁷ <https://avt.inl.gov/project-type/ev-project> , acedido a 17 de março de 2018.

descrito acima é caracterizante desse mesmo contexto, em que a média de tempo de conexão por carregamento nos pontos de carregamento do tipo é de 11,2h, sendo apenas 2,4h o tempo em que o posto está a efetivamente a carregar o veículo, resultando numa média de eletricidade consumida de 8,5 kWh por carregamento.

Relativamente aos dados dos postos privados não residenciais, correspondendo a menos de 1% dos carregamentos (1704), o padrão mediano semanal é de uma maior utilização, atingindo mais de 20%, durante o dia. Apesar do menor tempo de veículo conectado ao ponto (8,5h) em comparação com os pontos residenciais, o tempo em que o veículo está a carregar é o mesmo (2,4h).

Os postos acessíveis ao público correspondem a aproximadamente 2% dos carregamentos (5185). Nesses postos a utilização é relativamente reduzida e constante durante a noite, sofrendo um pequeno incremento durante o dia. O tempo médio de conexão do veículo à rede é de 7,9h, em que em média o veículo está a carregar 1,8h e em média são consumidos 6,3 kWh por carregamento.

O relatório referente ao ano de 2012 (Idaho National Laboratory, 2014b) concentra dados de 5584 veículos elétricos, 7955 pontos de carregamento e cerca de 1 milhão e 500 mil carregamentos, dos quais 91% foram efetuados em postos residenciais, 7% em postos públicos, 1% em postos privados não residenciais e 1% em postos de carga rápida. O padrão geral de carregamento durante a semana corresponde a uma utilização máxima mediana, em que são utilizadas cerca de 40% dos postos durante a noite e em que o pico de consumo se efetua entre as 00h e as 1/2h. Novamente, os carregamentos residenciais contribuem largamente para o padrão referido, pelo que o padrão dos postos residenciais é o mesmo. Relativamente à duração média de conexão dos veículos ao posto de carregamento, o valor é 11,9h, dos quais 2,4h em média é efetuado o carregamento.

Tanto os postos de carregamento privados não residenciais (17 mil carregamentos) como os postos de carregamento públicos (91 mil e 500 carregamentos) apresentam o mesmo padrão, sendo que a maior percentagem de utilização se dá durante o dia, com pico de consumo de manhã. Em média os veículos estão conectados entre 5,9 e 5,3 horas e o tempo de carregamento é de 2,8 a 2,2 horas. Os postos de carregamento rápido, onde se coletaram dados de 9700 carregamentos, são utilizados durante o dia, verificando-se vários picos, tanto de semana como no fim de semana. Em média os veículos estão conectados e efetuam o carregamento em 18,4 min.

O relatório referente ao ano de 2013 (Idaho National Laboratory, 2014c) concentra dados de 6494 veículos, 10 mil postos de carregamento e 2 milhões e 190 mil carregamentos, dos quais 83% foram efetuados em postos residenciais, 10% em postos públicos, 3% em postos privados não residenciais e 3% em postos de carga rápida. O padrão geral de carregamento é similar aos

anos anteriores, com uma diferença no padrão de consumo de eletricidade durante a semana, onde se verifica um segundo pico às 21h, além do pico maior entre as 00h e a 1h. Os postos residenciais apresentam um padrão idêntico aos anteriores, sendo, portanto, verificado um nível máximo de utilização dos postos superior a 50% durante a noite. Durante o dia a percentagem de utilização desce para 16% o que se diferencia do fim de semana, uma vez que nesses dias a utilização fica acima dos 25%. Em média os veículos estão conectados a estes postos 11,9h, em que 2,3h são a efetuar o carregamento.

Os postos de carregamento privados não residenciais (48700 carregamentos) e os postos de carregamento públicos apresentam novamente um padrão idêntico, ainda que com diferenças mais elevadas no tempo de carregamento. Existe uma maior utilização durante o dia, com máximo de manhã e à tarde. Em média os veículos estão conectados entre 7,9 e 4,4 horas, respetivamente, sendo que o tempo de carregamento varia entre 3,4 horas e 2,3 horas. Os postos de carga rápida, onde foram efetuados cerca de 72 mil carregamentos, apresentam, à semelhança do ano anterior, uma utilização sobretudo diária, ainda que neste ano se distingam três picos de utilização (e por consequência consumo) às 9h, 12h e 18h, durante a semana. No fim de semana, verifica-se também uma utilização sobretudo diária. Tanto durante a semana como no fim de semana, na maior parte das vezes não se efetuaram carregamentos durante a noite. Em média, os veículos estão conectados ao posto e efetuam o carregamento em 20 minutos.

2.4.2.1. Conclusões

Através dos dados dos diferentes estudos e ensaios anteriormente referidos é possível tirar algumas conclusões:

- As horas de início e períodos de maior utilização dos pontos do carregamento tendem a seguir um padrão dependendo da sua localização, do tipo de utilizador e do uso conferido, de tal forma que:
 - O carregamento na residência é, por norma, o mais utilizado e segue o padrão de elevada utilização ao fim da tarde e à noite, alturas em que também se observam picos correspondentes à chegada do UVE à residência ou à existência de uma tarifa em que o preço de eletricidade seja menor durante a noite. Neste tipo de carregamento, o VE costuma estar conectado mais tempo, grande parte das vezes superior a 10h, ainda que o tempo de carregamento seja normalmente inferior a 5h (2/3h);
 - O carregamento no local de trabalho é também um dos mais utilizados, seguindo um padrão de elevada utilização diurna, de acordo com o horário normal de trabalho, com um pico maior de manhã, aquando da chegada do UVE ao local, verificando-se também nalguns casos picos a meio do dia.

Nestes locais o tempo de conexão é menor que a anterior localização, ainda assim pode variar entre 5 a 10h, sendo o tempo de carregamento praticamente as mesmas 2/3h;

- O carregamento público foi referido em grande parte dos estudos como tendo uma utilização inferior a 20% (do total de postos de cada estudo), devendo-se principalmente à possibilidade dos UVE carregarem em locais privados. Estes postos apresentam um padrão com uma elevada utilização diurna, normalmente com um pico de manhã. O tempo de conexão e duração do carregamento é em média idêntico ao carregamento efetuado no local de trabalho, embora em alguns casos se tenha verificado um menor tempo de conexão, mantendo-se o tempo de carregamento;
- A distância percorrida diariamente varia um pouco de estudo para estudo, sendo, conforme o local, entre 22 a 47 km, no entanto, não há grande variação entre a distância percorrida entre carregamentos, sendo esse valor de 32 a 36 km;
- Em todos os estudos, em que esta variável foi considerada, os VE iniciavam o carregamento com uma autonomia em média superior a 50%, o que pode indicar alguma ansiedade de ficar sem energia. No entanto, segundo Figenbaum & Kolbenstvedt (2015), baseado em entrevistas realizadas a condutores na Noruega, a tendência é para uma adaptação à autonomia, de maneira que os UVE se sentem confortáveis a utilizar 80% da autonomia dos veículos entre carregamentos, ou seja, iniciam o carregamento com 20% de carga;
- O número de carregamentos individuais por dia parece variar entre 0,25 vezes a 0,5 vezes, ou seja, um VE efetua um carregamento a cada segundo dia ou a cada quarto dia, sendo o carregamento ao terceiro dia o mais frequente;
- Em média, grande parte do tempo de conexão do VE a um posto de carregamento é realizado a manter a carga da bateria, sendo uma pequena percentagem desse tempo realmente utilizada para efetuar o carregamento.

2.5. A adoção da mobilidade elétrica pelo mundo

Este subcapítulo pretende dar a conhecer as tendências globais, regionais e, em alguns casos, nacionais, das vendas dos veículos elétricos plug-in ligeiros de passageiros e respetivas quotas no mercado. Segundo Hall, Cui, & Lutsey (2017), investigação extensiva tem mostrado que a elevada penetração de VE está relacionada com a variedade de atividades e políticas de suporte, pelos motivos já mencionados de mitigarem as barreiras à sua adoção. Assim sendo, as

áreas onde se verifica um maior número de vendas serão aquelas onde se verifica uma maior eficácia nos incentivos, pelo que esta questão será também abordada.

As vendas acumuladas de PEV (*stock* global) ultrapassaram os 3 milhões em 2017 (mais de 3 milhões e 200 mil veículos em circulação). No mesmo ano foram registados cerca de 1 milhão e 220 mil PEV, também valor recorde, 1,28% do mercado global de ligeiros de passageiros. A Figura 7 representa a evolução do *stock* de PEV entre 2012 e 2017. Apesar de se verificar um aumento anual no número de PEV vendidos nesse período (em 2017 vendeu-se mais 800% que em 2012), a taxa de crescimento anual tem vindo a diminuir e o *stock* global de PEV apenas representava 0,2% do número total de veículos ligeiros de passageiros em circulação em 2016 (International Energy Agency, 2017b). Os BEV representavam, em 2016, cerca 60% do *stock* de PEV.

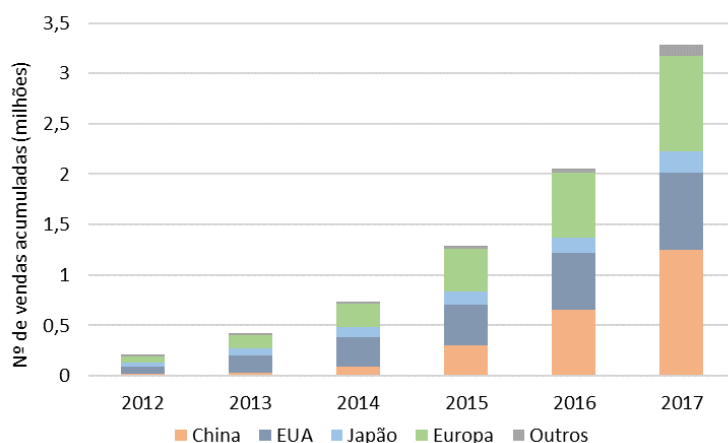


Figura 7 - Vendas globais acumuladas de PEV entre 2012 e 2017, diferenciação por países e regiões.

Fonte: Pontes (2013b, 2013c, 2014a, 2014b, 2014c, 2015a, 2015b, 2015c, 2015d, 2016a, 2016b, 2016c, 2016d, 2016e, 2017a, 2017b, 2017c, 2018a, 2018b, 2018c)

O número de postos de carregamento tem acompanhado o crescimento do *stock* de veículos elétricos, atingido cerca de 320 mil postos a nível global em 2016. O *stock* de PEV concentra-se em poucos mercados (International Energy Agency, 2017b), nomeadamente na China, EUA, Japão e Europa, como é possível observar na Figura 7. Mais concretamente e considerando apenas países, em 2017, 78% do *stock* pertencia à China (38%), EUA (23%), Noruega (6%), Japão (6%) e França (4%). Se juntarmos Reino Unido (4%), Alemanha (4%), Holanda (4%) e Suécia (2%), a percentagem é de 91%.

2.5.1. Veículos Elétricos Plug-in na China

A China apresenta um aumento de mais de 5000% nas vendas dos PEV em 2017 face às vendas de 2012, com um crescimento médio anual de vendas de 140%. No mesmo ano, o país

passou a marca de 1 milhão de PEV em vendas acumuladas (mais de 1 milhão e 200 mil – 38% do *stock* global), ano em que foram vendidos cerca de 600 mil veículos do género (Figura 8), quase metade (49%) do mercado global do mesmo ano, sendo o país com o maior número absoluto de PEV em circulação. No entanto, os PEV representavam menos de 1,5% do mercado de passageiros vendidos em 2016 (Ehring & Witteveen, 2017). Desde esse ano que a China é o país com o maior *stock* de PEV a nível global e desde 2014 que os BEV representam cerca de 75% desse *stock* (International Energy Agency, 2017b).

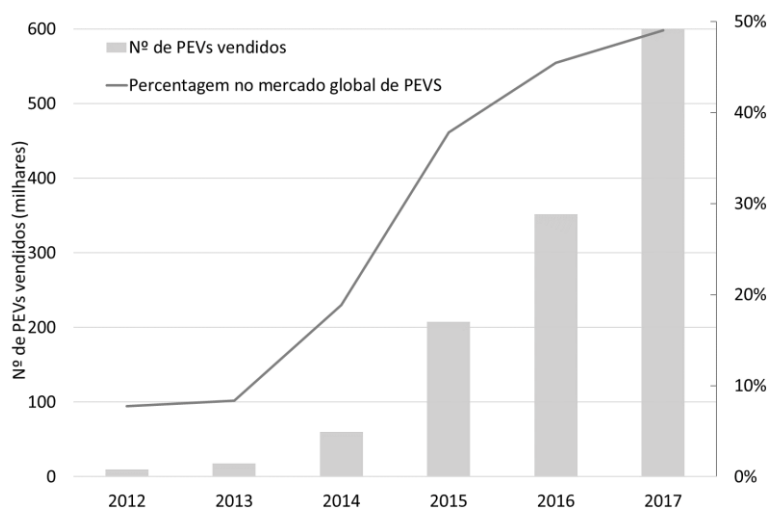


Figura 8 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 na China.

Fonte: Pontes (2014a, 2015a, 2016a, 2017a, 2018a)

Segundo Hall, Moultak, & Lutsey (2017), a China tem uma variedade de políticas e ações promocionais a nível nacional e municipal que têm suportado o desenvolvimento do mercado de PEV, incluindo incentivos governamentais na compra de novos veículos. Segundo o mesmo autor, Shanghai, Shenzhen e Beijing sobressaem pelo seu sucesso no mercado de PEV, representando juntas cerca de 41% das vendas nacionais de PEV em 2015. No entanto, são várias as cidades na China que oferecem benefícios adicionais aos seus utilizadores, como isenção das restrições de tráfego (Beijing e Wuhan), isenção de portagens (Wuhan) e estacionamento gratuito (Shenzhen), isenção de taxas e subsídios nas infraestruturas de apoio aos PEV e apoio aos fabricantes e indústrias relacionadas. No entanto, a política do governo central exigiu em 2016 a diminuição gradual (anualmente) dos subsídios para os PEV, contando com uma redução dos valores de 2016 em 20% para 2017/2018 e em 60% para 2019/2020 (Ou et al., 2017). A China concentrava, em 2016, mais de 142 mil postos de carregamento públicos, dos quais 89 mil (~60%) eram de carga rápida, contribuindo em 25% para os postos de carregamento lento e 81% para os postos de carregamento rápido a nível global (International Energy Agency, 2017b).

2.5.2. Veículos Elétricos Plug-in nos EUA

Em 2017 registaram-se quase 200 mil PEV nos EUA (Figura 9), 16,3% do mercado global e 1,2% do mercado do país de ligeiros de passageiros. No mesmo ano, face às vendas de 2012, os EUA apresentaram um aumento de 265% (um crescimento médio anual de 32%), estando neste momento com um *stock* de mais de 760 mil veículos (23,3% do global). No entanto, a evolução das vendas nem sempre foi positiva, havendo uma queda de 3,7% entre 2014 e 2015, ano em que desceu no top de vendas global.

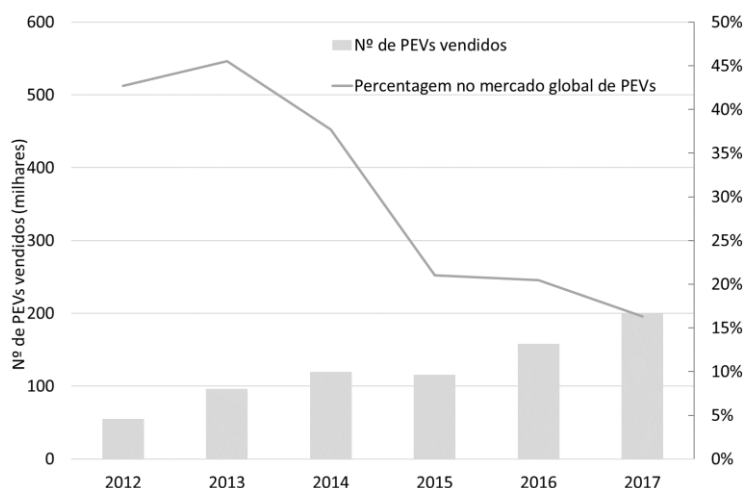


Figura 9 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 nos EUA.

Fonte: Pontes (2013c, 2014c, 2015d, 2016e, 2017c, 2018d)

Os EUA incluem vários programas de promoção à adoção da ME, entre eles vantagens financeiras, normas de eficiência com incentivos explícitos para os VE, subsídio para a infraestruturas de carregamento públicas e programas de encorajamento ao desenvolvimento de infraestruturas de carregamento nos locais de trabalho (Hall, Moulak, et al., 2017). Adicionalmente, o mesmo país lançou uma iniciativa em 2012 (EV Everywhere) que combina investigação e desenvolvimento, divulgação e educação, com o objetivo de tornar os VE convenientes e competitivos a nível de custos com os VCI. Alguns estados apresentam mercados de PEV que sobressaem, como por exemplo, a Califórnia (dos primeiros a promover veículos de zero emissões com o mandato ZEV), Seattle, Washington, Portland, Georgia, entre outros, e apresentam isenções de taxas e rebates na aquisição dos veículos. São cerca de 9 os estados com mandatos de produção de ZEV (*Zero Emission Vehicles*). Em 2016, os EUA tinham no total mais de 41 mil postos de carregamento, dos quais cerca de 5500 (13%) eram de carga rápida (International Energy Agency, 2017b).

2.5.3. Veículos Elétricos Plug-in no Japão

O Japão apresentou uma queda nas vendas de PEV de 2014 a 2016 (ano em que foram vendidos cerca de 22 mil veículos). No entanto, no ano de 2017, graças à introdução de dois novos modelos de veículos, que representaram 48% e 30% das vendas de PEV desse ano, o Japão vendeu cerca de 56 mil veículos do género (5% do mercado global e 1,1% do mercado de ligeiros de passageiros japonês), representando um aumento de 150% face ao ano anterior. Na Figura 10, onde está presente a evolução das vendas e da percentagem de mercado, observa-se uma diminuição da percentagem no mercado até 2016, devendo-se ao elevado crescimento de outros mercados, mas também ao decréscimo de vendas de PHEV (as vendas de BEV continuam em crescimento). Em 2017 observa-se uma inversão da tendência negativa das duas variáveis. Em termos de vendas acumuladas, o país concentrava, em 2017, cerca de 206 mil PEV (6,3% do *stock* global). O Japão tinha, em 2016, cerca de 22500 postos de carregamento, dos quais 5500 (24%) eram de carga rápida (International Energy Agency, 2017b).

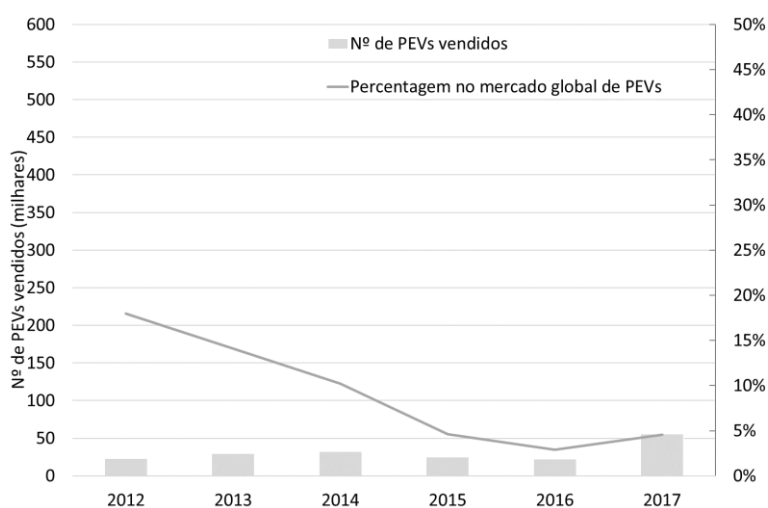


Figura 10 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 no Japão.

Fonte: Pontes (2013b, 2015c, 2016c, 2016d)

Segundo Åhman (2006), o apoio governamental para o desenvolvimento de veículos alternativos começou nos primeiros anos da década de 70 do século passado, com a importância dada aos veículos elétricos com bateria. Os incentivos começaram com subsidiação e diretrizes para investigação e desenvolvimento e com um programa para o incentivo à compra desses veículos. Mais tarde, na década de 90, o governo iniciou um projeto para a disponibilização de infraestruturas de carregamento. As políticas que apoiam o desenvolvimento da mobilidade elétrica passavam em 2011, segundo Shulock, Pike, Lloyd, & Rose (2011), pela isenção da taxa de aquisição para novos veículos e redução para veículos usados e pela isenção da taxa anual de tonelagem. Em 2016 foi introduzido um novo programa que garante o aumento progressivo dos

subsídios conforme aumenta a autonomia do veículo. Este programa provocou, no mesmo ano um aumento em 50% nas vendas de BEV e um decréscimo de 34% nas vendas de PHEV (dado que o segundo tem baterias mais pequenas e menos autonomia que o primeiro) (International Energy Agency, 2017b).

2.5.4. Veículos Elétricos Plug-in na Europa

A Europa, como região, compete principalmente com os EUA e a China, apresentando um aumento de mais de 550% nas vendas de PEV em 2017 face a 2012, com uma média no crescimento anual de vendas de 50% entre o mesmo período. Em 2017, conforme a Figura 11, foram registados cerca de 300 mil veículos (25% mercado do mercado global de vendas), acumulando nesse mesmo ano cerca de 950 mil veículos, 29% do *stock* global. No mesmo ano, só a Noruega, França, Reino Unido, Alemanha, Suécia e Holanda representavam 84% do mercado europeu. Nos últimos dois anos, a Europa tem apresentado um decréscimo da percentagem no mercado global, devido aos elevados números de veículos que têm sido registados na China.

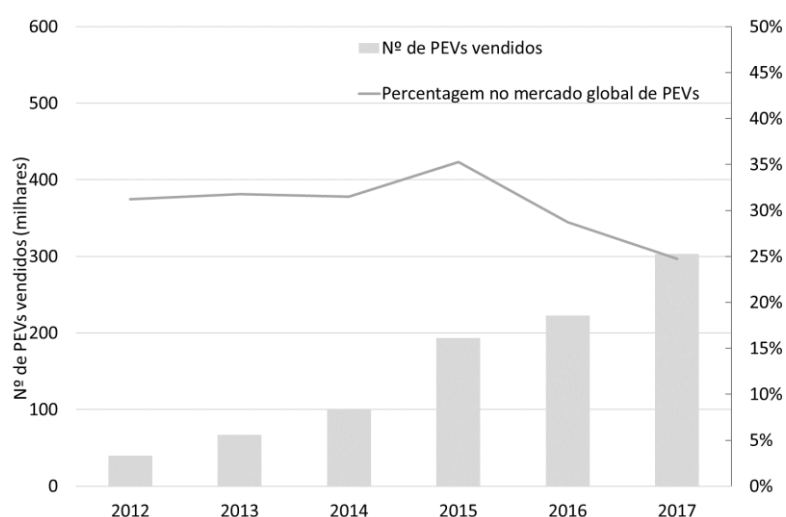


Figura 11 - Vendas e percentagem no mercado global de PEV entre 2012 e 2017 na Europa.

Fonte: Pontes (2013a, 2014b, 2015b, 2016b, 2017b, 2018b)

2.5.4.1. Noruega

A Noruega é vista como o líder mundial na mobilidade elétrica (Hall, Moultak, et al., 2017), principalmente pela elevada representação dos PEV nas vendas de ligeiros passageiros. Em 2017, cerca de 39% dos veículos ligeiros de passageiros vendidos neste país foram PEV¹⁸, correspondendo a cerca de 62 mil veículos, dos quais a maior parte eram BEV (53%). O país tem apresentado uma dinâmica de vendas positiva, com um aumento médio nas vendas de 74% entre

¹⁸ <http://www.eafo.eu/content/norway>, acedido em 20 de maio de 2018

2012 e 2017, e foi o país da Europa com o maior número de PEV vendidos em 2016 e 2017, 20,5 e 20,3%, respetivamente, do mercado de PEV ligeiros de passageiros. Em termos de vendas acumuladas, a Noruega concentrava cerca de 180 mil veículos, representando 19% das vendas acumuladas na Europa, sendo o país com maior número de vendas acumuladas, 3º a nível global.

O mesmo país tinha em 2017 cerca de 10 mil postos de carregamento, dos quais 2041 eram de carga rápida¹⁸ (20%). Grande parte da eletricidade consumida na Noruega provém de energia hidroelétrica, fazendo dos veículos elétricos uma das importantes ações para reduzir as emissões de carbono (Hall, Moultak, et al., 2017). Segundo o mesmo autor, o governo norueguês tem implementado o melhor programa de incentivos à mobilidade elétrica, constituído pela redução em 25% do imposto de valor acrescentado na compra ou aluguer de VE, isenção de taxas de compra ou importação, isenção de portagens, taxa de circulação reduzida, isenção de taxas da eletricidade de carregamento, acesso às vias destinadas aos transportes públicos, estacionamento municipal gratuito e utilização gratuita dos postos de carregamento (AVERE, 2012¹⁹; Norsk elbilforening, 2016²⁰, cit. por Hall, Moultak, et al., 2017; International Energy Agency, 2017b).

2.5.4.2. *França*

França foi dos primeiros países europeus a apostar no desenvolvimento da mobilidade elétrica, contando com cerca de 15 mil veículos vendidos até 2012 (25% da frota europeia), ano em que se registaram quase 12 mil veículos (27,2% dos PEV registados na Europa). No entanto, França tem apresentado um crescimento menos acentuado que a maior parte dos países aqui tratados – apresenta uma média de crescimento nas vendas de 27%, o único dos países europeus aqui apresentados a apresentar um valor abaixo do total europeu, que apresenta uma média de crescimento de 52% -, pelo que em 2017, ano em que foram vendidos cerca de 37 mil veículos, representava 12% do mercado europeu de PEV e acumulava cerca de 144 mil PEV vendidos (15,2% do total europeu). No mesmo ano, os PEV contaram em cerca de 1,75% das vendas de ligeiros de passageiros, sendo que a maior parte foram BEV (68%). O país tinha mais de 16 mil postos de carregamento, dos quais cerca de 12% eram de carga rápida²¹.

Em França aplica-se o sistema bônus/malus, garantindo a subsidiação em veículos de baixas emissões e aumentando o preço de aquisição dos outros tipos de veículos, contando também com um bônus com desmantelamento de velhos veículos a diesel (AVERE-France, 2016b²², cit. por Hall, Moultak, et al., 2017). O governo francês oferece isenções de taxas a

¹⁹ AVERE (2012). Norwegian Parliament extends electric car initiatives until 2018.

²⁰ Norsk elbilforening (2016). Norwegian EV policy.

²¹ <http://www.eafo.eu/content/france>, acedido em 20 de maio de 2018.

²² AVERE-France (2016). Superbonus and conversion premium: User manual.

empresas pela aquisição de veículos elétricos e 30% de taxa de crédito com a instalação de postos de carregamento (City of Paris, 2016²³ cit. por Hall, Moultak, et al., 2017; International Energy Agency, 2017b). No mesmo país, a partir de 2030 pretende-se que haja 7 milhões de postos de carregamento instalados.

2.5.4.3. Reino Unido

O Reino Unido é o país europeu aqui referido que apresenta uma maior média anual de crescimento nas vendas de PEV, com 92%, ainda que apresente um decréscimo na taxa de crescimento desde 2013. Face a 2012, o ano de 2017 representa um aumento de 1515% nas vendas, com cerca de 47 mil PEV registados (15,4% das vendas na europa), contando 1,91% das vendas de ligeiros de passageiros do país, dos quais cerca de 72% foram PHEV, à semelhança dos anos anteriores. Os BEV têm apresentado um crescimento lento, pelo que grande parte do crescimento das vendas anuais é justificado pelas vendas de PHEV. Em 2017, o país teria um *stock* de cerca de 140 mil veículos, representando cerca de 15% do *stock* europeu.

Recentemente, o Reino Unido iniciou um conjunto de programas para a promoção de VE, onde se inclui um subsídio de aquisição e uma campanha de consciencialização (OLEV, 2016d²⁴, cit. por (Hall, Moultak, et al., 2017). As prioridades no esquema de eletrificação do transporte neste país incluem o desenvolvimento de equipamento de carregamento público e privado e a eletrificação de frotas de autocarros e táxis. A nível das infraestruturas de carregamento, a OLEV (Office for Low Emissions Vehicles) oferece garantias na instalação de postos na habitação e no local de trabalho e coopera com o gestor da rede viária principal para a conclusão da rede britânica de postos de carga rápida (OLEV, 2016b²⁴; Blythe et al., 2015²⁵, cit. por Hall, Moultak, et al., 2017). Adicionalmente, existe ainda a isenção das taxas de eletricidade, do imposto sobre o veículo nos BEV e redução nos PHEV, bem como a redução das taxas para veículos empresariais e outros benefícios como estacionamento gratuito e acesso às vias dos transportes públicos (International Energy Agency, 2017b). Em 2017, o Reino Unido tinha cerca de 14 mil postos de carregamento públicos, dos quais 2759 eram de carga rápida (cerca de 19%)²⁶.

²³ City of Paris (2016). Fight against pollution: how to receive aid.

²⁴ Office for Low Emission Vehicles (OLEV). (2016d). New plug-in car grant levels from March 2016.

²⁵ Blythe, P., Neaimeh, M., Serradilla, J., Pinna, C., Hill, G., & Guo, A. (2015). Rapid charge network activity 6 study report. Newcastle University

²⁶ <http://www.eafo.eu/content/united-kingdom>, acedido em 20 de maio de 2018

2.5.4.4. *Alemanha*

A Alemanha apresentou um registo de vendas de cerca de 53 mil veículos em 2017, cujo representa cerca de 18% das vendas na europa e 1,56% das vendas totais alemãs de ligeiros de passageiros, fazendo deste o segundo país europeu que mais PEV vendeu nesse ano, graças a um aumento de 96% das vendas entre 2016 e 2017, depois de apresentar uma diminuição do crescimento das mesmas entre 2014 e 2016 (2013/2014 – 97%; 2014/2015 – 83%; 2015/2016 – 13,4%). Em 2017, a Alemanha acumulava cerca de 131 mil PEV vendidos (13,9% da europa) e mais de 25 mil postos de carregamento, dos quais cerca de 3000 (12%) eram de carga rápida²⁷.

Os incentivos em vigor passam por rebates no valor de aquisição, com os BEV a beneficiarem de um maior valor de rebate, com um limite de 400 mil veículos até 2020 ou 600 milhões de euros, resultante de uma parceria entre os fabricantes de automóveis e do governo. São oferecidos ainda 10 anos de isenções na taxa de circulação (5 anos a partir de 2021) e dedução da taxa para carros empresariais. A nível local, os VE podem ainda beneficiar de estacionamento gratuito, estacionamento dedicado e acesso às vias de transporte público (International Energy Agency, 2017b).

2.5.4.5. *Suécia*

A Suécia apresenta uma média de crescimento anual das vendas de 80% entre 2012 e 2017, em que a taxa de crescimento tem vindo a diminuir desde 2014. Em 2017 houve um crescimento de 47% face ao ano anterior, principalmente devido ao crescimento das vendas de PHEV, ano em que se vendeu mais 1550% face às vendas de 2012, cerca de 20 mil PEV (6,5% do mercado europeu) dos quais 80% foram PHEV, representando 5,28 % das vendas de ligeiros de passageiros. No mesmo ano, a Suécia acumulava cerca de 51 mil PEV (5,4% da Europa, sendo a maior parte PHEV) e tinha mais de 4700 postos de carregamento, dos quais cerca de metade eram de carga rápida²⁸. Vários programas de incentivo têm sido adotados, onde se inclui um subsídio de aquisição entre 2011 e 2015 (valor mais elevado para os BEV), 5 anos de isenção da taxa de circulação anual, incentivos na substituição de certos veículos convencionais e estacionamento gratuito (Hall, Moultak, et al., 2017; International Energy Agency, 2017b).

2.5.4.6. *Holanda*

A Holanda é um país que não apresenta uma evolução constante nas vendas de PEV. Nos anos de 2013 e 2015 foi o país europeu que mais vendeu veículos do tipo, a representar 34,5% (aproximadamente 23 mil veículos) e 22,4% (aproximadamente 43 mil veículos) do mercado

²⁷ <http://www.eafo.eu/content/germany>, acedido em 20 de maio de 2018

²⁸ <http://www.eafo.eu/content/sweden>, acedido em 20 de maio de 2018

européu, respetivamente. Em 2014, apresentara uma quebra de 34% face às vendas do ano anterior e em 2016 uma quebra de cerca de 47% face a 2015, seguindo-se de uma quebra de 60% entre 2016 e 2017, vendendo apenas 9000 veículos no último ano (3% do mercado europeu e 2,2% das vendas de ligeiros de passageiros no país). Estas variações são causadas pelas variações nas vendas de PHEV, sendo que as vendas de BEV têm, desde 2012, apresentado pequenos incrementos anualmente. A grande quebra de vendas em 2016 e 2017 é explicada pela redução dos incentivos à compra de PHEV, pelo que, em 2017, mais de 88% dos PEV vendidos foram BEV, representando um aumento de cerca de 100% em relação a 2016 no número de BEV vendidos. No mesmo ano, a Holanda apresentava um *stock* de 120 mil veículos, dos quais cerca de 83% eram PHEV.

Na Holanda, os ZEV beneficiam da isenção das taxas de registo e circulação e da redução de taxas no uso privado de carros empresariais (Hall, Moulak, et al., 2017). A Holanda tem uma rede extensa de postos de carregamento, que em 2017 contava com mais de 33 mil postos, dos quais apenas 755 eram de carga rápida (2,3%)²⁹.

Pode considerar-se que atualmente a adoção da ME se encontra pouco dispersa pelo mundo, com cerca de 10 países a concentrarem a maior parte do *stock* de PEV, ainda que os mesmos apresentem uma evolução bastante positiva. Desses mercados destacam-se: a China e os EUA, em termos de números de veículos vendidos por ano, do número de veículos em *stock*, sendo o primeiro país o líder mundial, e pela disponibilização de infraestruturas; a Noruega por ser o país europeu com maior número de registos nos últimos dois anos e por ser o país com a maior percentagem de PEV no mercado interno (globalmente), bem como pelos vários incentivos à adoção; a Holanda por normalmente apresentar uma percentagem de mercado elevada e pela rede extensa de carregamento que disponibiliza; e também a Suécia, por apresentar elevadas quotas de mercado.

²⁹ <http://www.eafo.eu/content/netherlands>, acedido em 20 de maio de 2018

3. Mobilidade Elétrica em Portugal

Em Portugal, a contribuição negativa do sector do transporte também tem sido uma preocupação crescente e a base do interesse da integração de veículos elétricos no parque automóvel. Em 2017, as emissões de GEE, sem contabilização das emissões de alteração do uso do solo e florestas, foram contabilizadas em cerca de 68,9 Mt CO₂eq., representando um aumento de 15,7% face a 1990 e um crescimento de 7,1% relativamente a 2014 (Pereira, Seabra, et al., 2017). O gás com maior representatividade foi o CO₂, 76% do total das emissões nacionais, situação que está relacionada com a importância do setor energético e a predominância do uso de combustíveis fósseis. Segundo Pereira, Seabra, et al. (2017) e a APA (2017), as indústrias energéticas e o transporte são as principais fontes de emissões, cujo contribuem 27% e 24% das emissões totais de Portugal continental.

As emissões do transporte, dominadas pelo tráfego rodoviário, são das que apresentam um maior crescimento. No período entre 1990 e 2015, essas emissões cresceram 61%, devido ao crescimento estável das frotas automóveis e do tráfego rodoviário entre 1990 e 2000, refletindo o aumento do rendimento familiar e o forte investimento na infraestrutura rodoviária na década de 1990. Após 2000 seguiu-se um período de estabilização e, posteriormente a 2005, um declínio, relacionados com a implementação de importantes medidas, entre as quais a expansão da rede de energias renováveis na produção de eletricidade, a introdução do gás natural, a melhoria da eficiência dos veículos e melhoria da qualidade dos combustíveis, para além dos efeitos da crise económica e financeira portuguesa. No entanto, observa-se a inversão dessa tendência nos anos recentes, com um aumento das emissões no sector do transporte de 3,3% entre 2013 e 2015.

Portugal tem, segundo a DGEG (sem data), uma elevada dependência energética do exterior devido à escassez de recursos energéticos fósseis (petróleo, carvão, gás natural), sendo que em 2012 a taxa de dependência energética era de 79,4%, tendo vindo a diminuir desde 2005, em contrapartida do aumento da contribuição das energias renováveis (hídrica, eólica, solar, geotérmica, biomassa). Segundo a DGEG/MEC, o petróleo tem sido a principal fonte de energia consumida, representando 43% em 2015, seguido das energias renováveis (22,2%), do gás natural (17%) e do carvão (12,8%). Em 2012, 35,7% da energia foi consumida no sector do transporte, fazendo desse o sector com mais energia consumida (DGEG, sem data). Relativamente aos poluentes atmosféricos, dentro do sector energético, o transporte é responsável pela maior parte das emissões de NO_x (NO e NO₂) (46% das emissões de 2015). No mesmo ano, o sector do transporte foi o maior responsável nas emissões de NO₂ (56%) e de CO₂ (32%) (Pereira, Silva, et al., 2017). No entanto, as emissões de alguns dos poluentes registaram uma diminuição entre 1990 e 2015, sendo que no caso do NO_x as emissões provenientes do transporte diminuíram 10%.

Portugal tem-se encontrado em linha com os compromissos nacionais e objetivos europeus para a redução das emissões desde o Protocolo de Quioto (1997 - 2012), protocolo que cumpriu e que estabelecia que os países da UE estariam obrigados a reduzir as emissões de GEE em 8% face aos valores de 1990 e que Portugal poderia aumentar as mesmas emissões até 27%, tendo limitado o aumento em cerca de 13% em 2012 (em relação a 1990) (Agência Portuguesa para o Ambiente (APA) & Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas, 2012). No âmbito desse protocolo, foram elaborados instrumentos fundamentais no cumprimento dos objetivos nacionais, nomeadamente o Programa Nacional para as Alterações Climáticas (PNAC), o Plano Nacional de Atribuição de Licenças de Emissão para o período 2008-2012 (PNALE II), o Fundo Português de Carbono (FPC) e a Estratégia Nacional de Adaptação às Alterações Climáticas (ENAAC).

Desde 2010 têm sido definidos, pelo governo, vários instrumentos que visam a redução das emissões, onde se inclui a introdução e incentivo à mobilidade elétrica (APA, n.d.; Resolução do Conselho de Ministros nº 56/2015 de 30 de julho da Presidência do Conselho de Ministros, 2015):

- **Roteiro Nacional de Baixo Carbono (RNBC)** - Estabelece as políticas a prosseguir e as metas nacionais a alcançar em termos de emissões de gases com efeito de estufa. O RNBC é baseado em cenários prospetivos de emissões de gases com efeito de estufa para 2050 e indica a possibilidade de redução as emissões nacionais de GEE na ordem de 50% a 60%, face aos níveis de 1990, num cenário onde se inclui a difusão da ME;
- **Compromisso para o Crescimento Verde (CCV)** - Estabelece o objetivo de redução das emissões de GEE e um conjunto de metas quantificadas para a área da energia, visando reforçar o peso das energias renováveis no consumo final de energia. Um dos catalisadores do CCV é a reforma da fiscalidade verde onde se inclui a introdução de incentivos à mobilidade elétrica;
- **Quadro Estratégico para a Política Climática (QEPiC)** - estabelece a visão e os objetivos da política climática nacional no horizonte 2030, reforçando a aposta no desenvolvimento de uma economia competitiva, resiliente e de baixo carbono. O QEPiC integra o novo regime jurídico para a mobilidade elétrica no planeamento da política climática e reforça o contributo do Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal para a redução de emissões;
- **Programa Nacional para as Alterações Climáticas 2020/2030 (PNAC 2020/2030)** – Contemplado pelo QEPiC e articulado com o CCV, estabelece as políticas, medidas e instrumentos sectoriais reforçando a aposta na mobilidade elétrica, referindo o potencial de promover a utilização de veículos mais eficientes, criando condições para um uso mais alargado desta opção e para a constituição de um cluster industrial nesta área. São destacadas iniciativas e opções de políticas e medidas de carácter setorial do

CCV com relevância para os objetivos do PNAC, onde se inclui a promoção da ME, a concretização de programas de mobilidade sustentável na administração pública e a introdução de incentivos para a ME. Nas políticas e medidas para a promoção da ME e para cidades sustentáveis são definidas a consagração de um novo modelo para a mobilidade elétrica, a promoção do VE nas frotas de táxi, a promoção do VE na micrologística urbana e a promoção de VE de duas rodas. Já nas políticas e medidas para a Administração Pública é considerado o Plano de mobilidade sustentável na Administração Pública (ECO.mob) tendo em vista atingir a redução de 20% das emissões da frota em 2030;

- **Fundo Ambiental** – Substitui o Fundo Português de Carbono e pretende, como tipologia e orientação para a atribuição de apoios, entre outras orientações no âmbito da mitigação das alterações climáticas, “privilegiar as medidas que visem a remoção de barreiras de mercado à introdução da mobilidade elétrica...” (Decreto-Lei nº.42-A/2016 de 12 de agosto do Ambiente, 2016).

No tema da qualidade do ar foi elaborada a **Estratégia Nacional para o Ar** (ENAR 2020) (Resolução do Conselho de Ministros nº 46/2016 de 26 de agosto, 2016), que estabelece medidas pretendendo alcançar os objetivos de qualidade do ar propostos no Programa Ar Limpo para a Europa e pela OMS e contribuir para o Compromisso para o Crescimento Verde, em linha com os instrumentos nacionais da política climática. Entre as várias medidas está a promoção do veículo de elevado desempenho ambiental através das seguintes ações: promoção da adoção de veículos elétricos nas frotas de táxi; promoção da aquisição de veículos elétricos por particulares e detentores de frotas; promoção da aquisição de veículos elétricos na Administração Pública; promoção do veículo elétrico na micrologística urbana; criação de pontos de carregamento de energia alternativa.

No contexto do Pacote Energia-Clima, Portugal assumiu uma meta de 31% de energia de fontes renováveis no consumo final de energia, dos quais 10% nos transportes. Ainda no contexto da redução das emissões de GEE e da eficiência energética são elaborados instrumentos onde a mobilidade elétrica está presente como medidas para atingir os objetivos:

- **O Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética** (PNAEE 2017-2020)(República Portuguesa, 2017), onde se estabelece medidas significativas de melhoria da eficiência energética e das economias de energia esperadas e/ou realizadas. O atual PNAEE inclui a dinamização do mercado da mobilidade elétrica através de programas específicos, garantindo a atualização do atual enquadramento fiscal favorável para as empresas, tendo em vista promover a mobilidade elétrica junto do setor privado;

- **O Plano Nacional de Ação para as Energias Renováveis (PNAER 2020)** (Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 de 10 de abril da Presidência do Conselho de Ministros, 2013) é, à semelhança do PNAEE em matéria de eficiência energética, um instrumento de planeamento energético que estabelece o modo de alcançar as metas e os compromissos internacionais assumidos por Portugal em matéria de utilização de energia proveniente de fontes renováveis. Nas principais políticas e medidas específicas para o sector dos transportes, o PNAER 2020 visa a racionalização da infraestrutura de carregamento para VE às necessidades atuais, nomeadamente em zonas de elevada procura, preferencialmente cobertas e vigiadas.

3.1. O Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal

Neste contexto, de forma a definir as linhas da mobilidade elétrica do país foi criado o Programa para a Mobilidade Elétrica (MOBI.e). A Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2009 de 20 de fevereiro da Presidência do Conselho de Ministros, que cria o Programa, enquadrava que o governo pretendia “no âmbito da execução do Plano Nacional de Ação para a Eficiência Energética, (...) posicionar o País como pioneiro na adoção de novos modelos para a mobilidade, ambientalmente sustentáveis e que possam explorar a relação com a rede elétrica e a integração com as cidades” e assim “entendia ser necessário criar condições para a massificação do veículo elétrico, garantindo uma infraestrutura adequada à evolução do parque de veículos elétricos e o desenvolvimento de um modelo de serviço que permita a qualquer cidadão ou organização o acesso a toda e qualquer solução de mobilidade elétrica fornecida por qualquer construtor de veículos elétricos”. Além de criar o Programa para a Mobilidade Elétrica, o mesmo documento determinou ainda que o Programa seria dirigido por um gabinete no âmbito do Ministério da Economia e da Inovação, o Gabinete para a Mobilidade Elétrica em Portugal (GAMEP), criado pelo despacho n.º 13 897/2009, de 18 de maio, e cujo tinha vários objetivos, entre os quais a definição do modelo de implementação do Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal, nas suas diversas componentes, designadamente: definição do modelo de serviço, de negócio e de implementação; definição da rede piloto e suas componentes industriais; definição da gestão e coordenação da execução do Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal; definição das formas de financiamento; e desenvolvimento das soluções técnicas necessárias para a implementação de uma rede de pontos e sistema de gestão de carregamento do veículo elétrico.

Depois de reunidas as condições necessárias para aprovar as metas e objetivos do Programa, em que foram estabelecidas parcerias, foi elaborada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2009, de 7 de setembro, estabelecendo a definição do Programa e do respetivo plano de trabalho, atividades e prazos, atores envolvidos e responsabilidades. Assim, nesse

documento foram estabelecidos os objetivos estratégicos, princípios fundamentais subjacentes e as fases do Programa, que podem ser observados no Quadro 2, e ainda foram especificadas as componentes, serviços, atores e características e operacionalização da rede piloto de carregamento.

Quadro 2 - Objetivos estratégicos, princípios fundamentais e fases do Programa para a Mobilidade Elétrica.

Objetivos estratégicos	Acelerar o processo de adoção de veículos elétricos e permitir a gradual conversão do parque automóvel .	Incentivar a criação de condições atrativas ao investimento de atividades de produção e desenvolvimento de produtos relacionados com a Mobilidade Elétrica, promovendo tecnologias e inovações portuguesas.	Assegurar a contribuição para o cumprimento dos objetivos do Protocolo de Quioto , ao fomentar a utilização de energias renováveis na mobilidade
Princípios fundamentais subjacentes	Enfoque no utilizador , garantindo equidade e universalidade no acesso ao carregamento, independentemente do comercializador escolhido e assegurando as condições técnicas de interoperabilidade entre as diversas marcas e modelos de veículos, baterias e sistemas de carregamento.	Garantir condições atrativas para a entrada de várias empresas no mercado , promovendo a livre concorrência.	Privilegiar a utilização de energia de fontes renováveis , beneficiando dos mecanismos de produção descentralizada em meios urbanos, e antecipando a integração com redes inteligentes de energia na lógica de bidireccionalidade .
Fases do Programa para a Mobilidade Elétrica	Fase piloto : até ao final de 2011, que inclui a construção de uma infraestrutura mínima experimental de mobilidade elétrica a nível nacional, abrangendo 25 municípios e os principais eixos viários, a qual permitirá testar soluções de carregamento.	Fase de crescimento : início em 2012 e implicará o alargamento da infraestrutura experimental , com adoção das soluções testadas com sucesso na fase piloto, em particular no domínio da rede de carregamento.	Fase de consolidação : início logo que a procura de veículos elétricos atingir um nível sustentado e estiverem criadas as condições para a introdução de um sistema de bidireccionalidade de carregamento .

Fonte: Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2009, de 7 de setembro.

A rede de carregamento ficava então definida em 3 tipologias (espaços públicos ou privados de acesso público e espaços privados de acesso privado), 2 tipos de carregamento (normal à data – inferior a 40kw e rápido à data - superior a 40kw), 3 fases presentes no quadro e a operacionalização, dividida entre 2010, com a instalação de 300 pontos de carregamento normal e 20 de carregamento rápido, e 2011 com 1300 pontos de carregamento normal e 50 pontos de

carregamento rápido, abrangendo 25 municípios (principais capitais de distrito e concelhos das áreas metropolitanas de Lisboa e do Porto).

O Programa para a Mobilidade Elétrica em Portugal estabeleceu ainda várias medidas de incentivo e promoção da massificação do uso do veículo elétrico na fase piloto, tais como a criação de subsídios e incentivos de aquisição por particulares e empresas, a aquisição de veículos na administração central e no governo para fins de demonstração, implementação da infraestrutura de carregamento e implementação de uma plataforma de investigação e o desenvolvimento e teste de sistemas de gestão da mobilidade elétrica.

O Decreto-Lei n.º 39/2010, de 26 de abril, veio estabelecer o regime jurídico da mobilidade elétrica aplicável à organização, acesso e exercício das atividades de mobilidade elétrica e proceder ao estabelecimento da rede piloto da mobilidade elétrica com 1350 pontos de carregamento em 25 municípios. Este Decreto-Lei tinha como objetivos: incentivar a aquisição e utilização de veículos elétricos, através da regulação de um subsídio; garantir que o carregamento de baterias de veículos elétricos se realizasse através de uma rede de carregamento integrada, de forma cómoda e eficaz, estabelecendo o enquadramento legal para a criação de uma rede nacional de pontos de carregamento; e consagrar um regime de universalidade e equidade no acesso aos serviços de mobilidade elétrica.

Atualmente, o Decreto-Lei n.º 39/2010 vai na 3ª alteração. Na primeira alteração, Lei n.º 64-B/2011, de 30 de dezembro, foram apenas revogados os incentivos financeiros na aquisição de veículos elétricos. A segunda alteração, Decreto-Lei n.º 170/2012 de 1 de agosto, foi mais abrangente alterando questões relacionadas com a comercialização da eletricidade, operação dos pontos de carregamento e inspeções periódicas aos mesmos. Segundo consta na Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 de 10 de abril e na Resolução do Conselho de Ministros 88/2017 de 26 de junho, face ao reduzido número de veículos elétricos introduzidos no mercado, com a correspondente utilização da infraestrutura a situar-se aquém do inicialmente previsto nas metas do Governo, o modelo até então aplicado não se mostrou sustentável para os operadores. Em consequência, houve a necessidade de executar uma análise crítica ao modelo do Programa MOBI.E, onde se identificaram dificuldades de carregamento dos veículos elétricos, constrangimentos financeiros na aquisição de veículos elétricos e alguns aspetos culturais como obstáculos ao desenvolvimento da ME, procedendo-se ao respetivo reequacionamento, tendo sido determinada a prorrogação da fase piloto e reformulado o modelo de negócio procurando a sustentabilidade dos investimentos já realizados.

Assim, através da aprovação do Decreto-Lei n.º 90/2014, de 11 de junho, que constitui a terceira alteração ao articulado do Decreto-Lei n.º 39/2010, alterou-se a estratégia vigente quanto à mobilidade elétrica, tendo sido redefinido o seu modelo e potenciado a procura e utilização por

parte dos cidadãos, das empresas e da Administração Pública, e ainda foi reduzido o número global de pontos de carregamento previstos na rede piloto para 1200. A revisão do Programa passou pela redefinição dos grupos alvo, por novos cenários de penetração de veículos elétricos, pela revisão de aspetos do enquadramento das atividades principais da mobilidade elétrica, por uma reorganização de funções de gestão da rede e dos sistemas de informação e dos serviços de suporte a agentes de mercado e utilizadores. Pretendia-se também expandir a ME para as Regiões Autónomas dos Açores e da Madeira.

Foi ainda realizada uma atualização dos estudos de localização dos pontos de carregamento normal e rápido com o objetivo de atualizar algumas das recomendações propostas no que respeita à rede de carregamento que se pretende concluir ainda dentro do contexto da rede piloto MOBILE, com vista à promoção de uma utilização mais eficiente dos mesmos, à aproximação dos utilizadores de VE aos pontos de carregamento e ao alargamento da rede de mobilidade de forma sustentável a todo o território nacional.

Em 2015, com o objetivo de reunir de forma consolidada as alterações que têm vindo a ser realizadas com vista à dinamização da mobilidade elétrica nos últimos anos e densificar as medidas a ser implementadas por forma a ultrapassar os obstáculos ainda existentes, foi elaborado o Plano de Ação para a Mobilidade Elétrica, aprovado pelo Despacho nº 8809/2015 de 10 de agosto. Esse Plano, estando em conformidade com a nova estratégia para a mobilidade elétrica, tem em conta os seguintes vetores (Despacho nº 8809/2015 de 10 de agosto):

- Evolução do paradigma de carregamento dos veículos e da atividade de operação de pontos de carregamento para um regime de livre concorrência;
- Privilegiar o carregamento de veículos elétricos em habitações, condomínios e empresas;
- Implementação de mecanismos de discriminação positiva, nomeadamente pelos municípios;
- Isenção de taxas na aquisição de veículos elétricos, incentivo fiscal ao abate de automóveis ligeiros em fim de vida, dedução do IVA de viaturas de turismo elétricas ou híbridas;
- Evolução tecnológica e atualização dos pontos de carregamento da rede;
- Evolução tecnológica das baterias e expectável crescimento da densidade de energia e redução de preço no médio prazo;
- Introdução de novos serviços, como o carregamento inteligente integrado com microgeração ou autoconsumo e gestão descentralizada de energia, *carsharing* e *bikesharing*.

No mesmo plano é identificada a metodologia para a instalação de postos de carregamento de carga rápida, que passa pela garantia da coerência e conexão interurbana e inter-regional, pela adequação às necessidades de conveniência/emergência em função dos fluxos rodoviários registados e pela articulação com a rede de carregamento lento para acomodar aumentos de capacidade das baterias. É mencionada a importância da mobilidade elétrica na Administração Pública, referindo a elaboração de um programa de mobilidade sustentável na Administração Pública e ainda a importância da mobilidade elétrica na internacionalização da indústria portuguesa, bem como o papel da indústria portuguesa no desenvolvimento da mobilidade elétrica.

Em 2016, ano em que, segundo consta na Resolução do Conselho de Ministros 88/2017, de 26 de junho (p. 3196), o mercado de veículos ligeiros elétricos começou a mostrar uma dinâmica crescente e sustentada e o veículo elétrico a tornar-se uma opção cada vez mais competitiva e racional, foi publicada a Resolução do Conselho de Ministros n.º 49/2016, de 1 de setembro, com o objetivo de melhorar a infraestrutura para o carregamento destes veículos. Este diploma veio aprovar a conclusão da 1.ª fase da Rede Piloto MOBI.E (com 1200 pontos de carregamento normal e 50 pontos de carregamento rápido) e lançar a 2.ª fase da Rede Piloto, de modo a cobrir os municípios não servidos na 1.ª fase, alargando a Rede Piloto a um número total de 1604 pontos de carregamento pontos de carregamento normal e 50 pontos de carregamento rápido, designada Rede+ MOBI.E, com data de conclusão prevista para final de 2018.

No contexto da Diretiva n.º 2014/94/UE, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 22 de outubro de 2014, relativa à criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos, que visou estabelecer um quadro comum de medidas e de requisitos mínimos para a implantação de infraestruturas do tipo a nível europeu, foi elaborado o Decreto -Lei n.º 60/2017, de 9 de junho, como que uma transposição da referida diretiva, no qual se determina a elaboração de um Quadro de Ação Nacional (QAN). De acordo com o QAN, aprovado pela Resolução do Conselho de Ministros 88/2017, de 26 de junho, em relação à mobilidade elétrica, é estimado que o parque de VE (incluindo veículos ligeiros de passageiros, de mercadorias, autocarros e motociclos) totalize 34 mil VE em 2020 e 180 mil em 2030. Em termos de pontos de carregamento, além da rede piloto, em execução, que permitirá que todos os municípios terão acesso a uma infraestrutura mínima de carregamento com 1604 pontos de carregamento normal e 50 postos de carregamento rápido até final de 2018, prevê-se que a rede pública seja composta por um número mínimo de 2394 pontos de carregamento em 2020 (incluindo os da rede piloto).

Em termos gerais, os objetivos do QAN para promoção do desenvolvimento de uma infraestrutura de combustíveis alternativos (Resolução do Conselho de Ministros 88/2017, de 26 de junho, p. 3224) contemplam a substituição de 500 viaturas dos operadores de transporte

coletivo por veículos a combustíveis alternativos, aumentar a utilização de veículos movidos a combustíveis alternativos, por particulares e empresas, em particular híbridos e elétricos e aumentar a percentagem de combustíveis alternativos nos combustíveis consumidos no transporte rodoviário. A nível específico, na eletricidade, os objetivos e medidas são vários, incluindo (Resolução do Conselho de Ministros 88/2017, de 26 de junho, p. 3225-3227):

- Aumentar a utilização de veículos menos poluentes nos segmentos com maior impacto energético e ambiental ao direcionar os incentivos à aquisição de veículos elétricos para os segmentos com maior impacto energético e ambiental, como os autocarros de serviço público de transporte, táxis, transporte escolar, transporte de mercadorias e logística urbana, com prazo de lançamento para 2018;
- Aumentar a utilização de veículos elétricos em ambiente urbano, com a criação de incentivos que levem os operadores logísticos a adotar veículos elétricos sem emissões, em particular na operação em meios urbanos e em transporte *lastmile* (data de lançamento para 2018);
- Promover a eficiência económica e energética dos transportes públicos de passageiros, garantindo a substituição de 1000 táxis por veículos elétricos (data de lançamento para 2018);
- Aumentar a utilização de veículos elétricos com o prolongamento da atribuição de incentivos fiscais para a aquisição de carros elétricos e híbridos plug-in, através de montantes elegíveis para dedução fiscal e tributação autónoma de IRS e IRC (data de lançamento para 2018);
- Aparecimento de operadores de *carsharing* e *bikesharing* elétrico, com a criação de incentivos (em 2017);
- Dinamizar o veículo elétrico como solução simultânea para armazenamento e aproveitamento de energia elétrica, otimizando a gestão do sistema elétrico, através da definição de um quadro regulamentar e uma tarifa para a venda à rede elétrica da energia armazenada de forma descentralizada nas baterias dos veículos elétricos, potenciando a sua funcionalidade como um estabilizador da rede elétrica através do armazenamento de energia nos períodos de vazio e injeção na rede elétrica nas horas de ponta (data de lançamento para 2018);
- Aumento e melhoramento dos pontos de carregamento a nível geral, incluindo o aumento do número de pontos de carregamento em espaços privados de acesso privado ligados à rede MOBILE (2017);
- Desenvolver o cluster tecnológico ligado à ME, através de programas e linhas de apoio na indústria de componentes de veículos elétricos e infraestruturas de carregamento, e

no apoio à formação de técnicos para as indústrias relacionadas. E ainda através da criação de laboratórios vivos de demonstração de novas soluções na ME (2017).

Em 2017, foi adaptado à Região Autónoma da Madeira o Decreto-Lei n.º 39/2010, de 26 de abril, na redação republicada pelo Decreto-Lei n.º 90/2014, de 11 de junho, pelo Decreto Legislativo Regional n.º 5/2017/M, de 2 de março. Já em 2018, com o objetivo de incentivar a renovação da frota afeta ao serviço público, municipal ou intermunicipal, de transporte público de passageiros e ou de gestão de resíduos urbanos, substituindo veículos consumidores de combustíveis fósseis por veículos elétricos sem emissões e, simultaneamente, incentivar a instalação de centros electroprodutores de fonte renovável, foi criado um incentivo, na forma de um desconto aplicado ao preço da energia elétrica consumida pelos veículos, pelo Decreto-Lei n.º 4/2018, de 2 de fevereiro.

3.1.1.Evolução dos incentivos

Segundo Santos (2015), nos anos seguintes à criação do Programa para a Mobilidade Elétrica, o governo português, juntamente com as autarquias, concedeu vários incentivos à aquisição de VE por particulares e empresas, nomeadamente:

- Benefícios fiscais até 5 000 € na aquisição dos primeiros 5 000 veículos elétricos. Este benefício foi concedido, em 2011, a nível nacional e foi revogado através da Lei 64-B/2011, de 30 de dezembro, que aprovou o Orçamento do Estado para 2012;
- Incentivo fiscal ao abate de veículos em fim de vida, na compra de veículos elétricos novos, para BEV, PHEV, quadriciclos pesados elétricos, reintroduzido pela Reforma da Fiscalidade Verde;
- Isenção do pagamento do ISV e IUC para BEV e PHEV;
- Dístico para o estacionamento gratuito ou a custo reduzido, em algumas cidades, para os BEV, como por exemplo o Dístico Verde em Lisboa, criado pela EMEL;
- Deduções fiscais para empresas em sede de IRC e IVA, reintroduzidos pela Reforma da Fiscalidade Verde;
- Permissão para circular em vias prioritárias, como as vias dedicadas aos transportes públicos;
- Isenção do pagamento de taxas rodoviárias, incluindo portagens;
- Zonas exclusivas de estacionamento e estacionamento gratuito na via pública em algumas cidades.

Segundo a mesma autora, os incentivos foram reintroduzidos pela Reforma da Fiscalidade Verde em 2015, sendo que no ano de 2017 vigoraram o subsídio nacional de 2250€ na aquisição de BEV e de 1125€ na aquisição de PHEV, isenção ou redução das taxas de registo e de circulação, dedução no imposto de valor acrescentado para empresas e outros incentivos locais, como estacionamento gratuito na cidade de Lisboa e desconto de eletricidade durante um ano por parte de algumas empresas de eletricidade locais. No Orçamento do Estado para 2018 (Proposta de Lei n.º 100/XIII) é mantido o programa de incentivos, através do Fundo Ambiental, assegurando-se a introdução de, no mínimo, 200 VE na AP (em linha com o projeto ECO.mob) e o reforço das infraestruturas de carregamento, com a instalação de, no mínimo, 250 novos pontos de carregamento.

3.1.2. A rede de postos de carregamento

Segundo o Decreto-Lei n.º 39/2010, de 26 de abril (no Decreto-Lei n.º 90/2014, de 11 de junho), a rede de mobilidade elétrica compreende o conjunto integrado de pontos de carregamento e demais infraestruturas, de acesso público e privativo, relacionadas com o carregamento de baterias de veículos elétricos, em que intervêm os agentes, o qual se destina a permitir o acesso dos utilizadores de veículos elétricos à mobilidade elétrica. Atualmente, como foi referido, encontra-se em execução a 2ª fase piloto que, quando concluída, garantirá que os veículos elétricos possam circular com conforto nas aglomerações urbanas e suburbanas. O modelo da rede de carregamento imposta tem enfoque no utilizador, permitindo o acesso universal em termos de veículos, baterias, operador e comercializador. São identificadas três atividades principais: comercialização de eletricidade; operação de pontos de carregamento; e gestão de operações da rede.

Os pontos de carregamento instalados na rede MOBI.E contemplam os modos de carregamento 3 e 4, no entanto, existem, no total, quatro modos de carregamento dos veículos elétricos (Santos, 2015). No modo 1, os veículos utilizam uma tomada doméstica ou industrial, devendo ser utilizado por veículos que não estão preparados para efetuar o carregamento num posto. Este modo utiliza até 10 A ou até 16 A, dependendo da tomada, realizando-se normalmente num sistema monofásico a 230 V, não excedendo uma potência de 3kW. No modo 2 é também efetuada a ligação a uma tomada doméstica ou industrial, no entanto, neste caso trata-se de uma ligação adequada e protegida mediante a utilização de um cabo específico fornecido pelo fabricante e um controlador incorporado de modo a proteger a instalação elétrica. Este modo utiliza também até 10 A ou 16 A, realizando-se normalmente num sistema monofásico a 230 V, não excedendo uma potência de 3 kW. O modo 3 consiste numa ligação entre o veículo e um posto de carregamento, através de um cabo específico que permite gerir consumo e protege a

instalação elétrica. Este modo é também realizado normalmente num sistema monofásico a 230 V, 16 A ou 32 A e uma potência que varia entre 3,67 kW e 22 kW. Por fim, o modo 4 está presente em postos de carregamento rápido, sendo realizado normalmente num sistema trifásico até 400 V, utiliza 32 A, 63 A ou 100 A e uma potência que varia entre 22kW a 50 kW (os postos instalados em Portugal são de 43kW em corrente alternada e 50kW em corrente contínua). Segundo a autora (p.21), este tipo de carregamento deve ser evitado ao máximo, e apenas utilizado esporadicamente quando se pretende estender a autonomia do veículo durante uma viagem longa ou em caso de emergência.

3.1.2.1. A distribuição dos postos de carregamento

Relativamente aos postos de carregamento normal (inferiores a 22 kW), a conclusão da instalação prevista para final de 2018 assegurará a existência de pontos de carregamento em todos os municípios. As estratégias de colocação dos postos de carregamento podem ser observadas na Figura 12, a partir da qual se pode concluir que até ser definida a 2ª fase da rede piloto, apenas os municípios com relação ou interesse na ME eram integrados na rede, no mínimo três municípios por distrito e/ou com mais de 50 mil habitantes, enquanto era efetivada a cobertura integral das NUTS III. Também os corredores de relevância transfronteiriça eram considerados, assim como reforços complementares regionais.

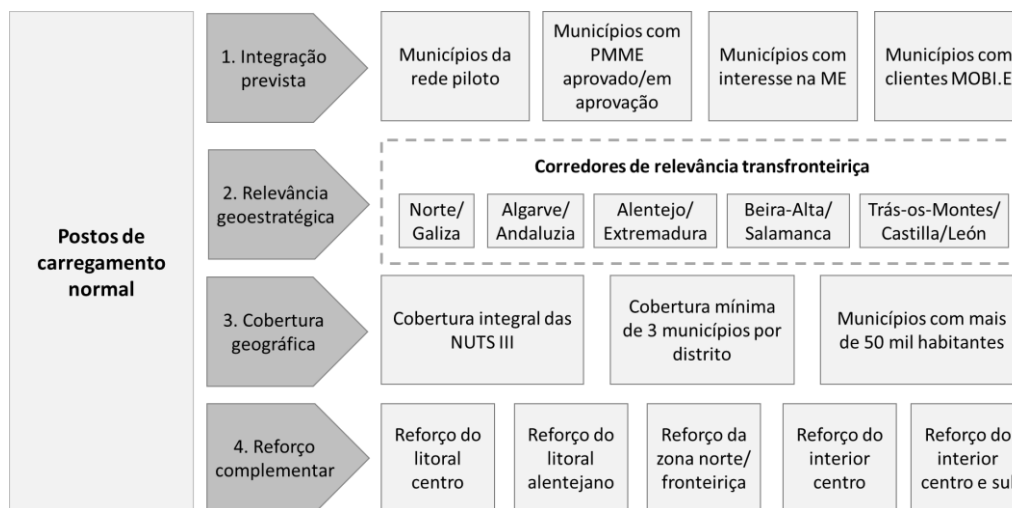


Figura 12 - Estratégias de localização de postos de carregamento de carga normal em Portugal.

Fonte: Adaptado do Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia (2016)

Os postos de carregamento rápido constituem um domínio muito particular face aos elevados requisitos de potência e custos associados, que levam a que se situem fora da esfera das instalações de carregamento em locais tradicionais (edifícios ou via pública) necessitando instalações dedicadas que garantam a coerência e conexão interurbana e inter-regional (assegurando carregamentos em longas distâncias, viabilizando as viagens mais longas em todo

o país), adequem as necessidades de conveniência/emergência em função dos fluxos rodoviários registados e articulem com a rede de carregamento lento para acomodar aumentos de capacidade das baterias. Além dessas questões, é também considerada a rede transfronteiriça. Estava prevista a instalação de 15 pontos em 15 localizações de autoestradas e 34 pontos em outras 17 localizações.

3.2. O mercado de Veículos Elétricos Plug-in

O mercado de PEV em Portugal tem demonstrado uma dinâmica bastante positiva nos últimos três anos. Cerca de 90% do *stock* no final de 2017 resultara das vendas entre 2015 e 2017. O mercado apresentou uma boa marca em 2011 (Figura 13), com mais de 200 veículos vendidos posicionava Portugal como um dos países na frente da ME, muito graças aos incentivos fiscais. Em 2012, com o fim desses incentivos, as vendas de PEV decresceram, fazendo de Portugal o único país com uma descida no mercado desse ano. Nos dois anos seguintes as vendas apresentaram algum crescimento (91,8% e 37,4%, respetivamente), mas foi a partir de 2015, com a reintrodução dos incentivos à aquisição, bem como a mudança do no modelo do programa, que se verifica um elevado crescimento das vendas. Em 2015 verificou-se um aumento de 302% face a 2014 (241% no caso dos BEV e 416% no caso dos PHEV), em 2016 um aumento de 57% face a 2015 (17,2% no caso dos BEV e 107% no caso dos PHEV) e em 2017 um aumento de 131% (137% no caso dos BEV e 127% no caso dos PHEV). A dinâmica observada depois de 2015, inclusive, deveu-se, além dos inventivos governamentais, também à existência de novos modelos de veículos mais atrativos, tanto nos BEV como nos PHEV. Até 2015, os BEV representavam mais de metade das vendas, sendo que nos últimos dois anos os PHEV representaram 58% e 57%, respetivamente.

Assim, em 2017 foram vendidos 4237 veículos, representando 1,9% do mercado de ligeiros de passageiros, sendo o primeiro ano a passar o valor 1% (até 2014 a percentagem não passava dos cerca de 0,2% e nos anos de 2015 e 2016 essa percentagem foi de 0,65 e 0,88, respetivamente). Relativamente ao mercado europeu, as vendas do ano de 2017 representaram 1,4% das vendas europeias, sendo o primeiro ano em que esse valor foi superior a 1% (até 2014 a percentagem não passou dos 0,3% e em 2015 e 2016 o valor foi de 0,6% e 0,8%, respetivamente).

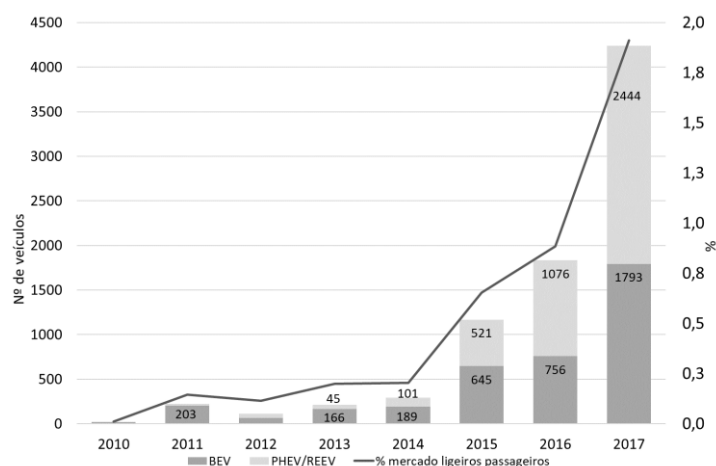


Figura 13 - Vendas anuais de PEV e respetiva percentagem no mercado de ligeiros de passageiros em Portugal entre 2010 e 2017.

Fonte: Associação Automóvel de Portugal & Auto Informa (2017) e European Alternative Fuels Observatory (2018).

Relativamente ao *stock* de veículos elétricos, Portugal contava no final de 2017 com cerca de 8 mil PEV, dos quais cerca de 53% eram PHEV (até então, a maior parte do *stock* era representado por BEV). Naturalmente, verifica-se, na Figura 14, um aumento significativo no *stock* a partir de 2015, ano em que foram atingidas 2 mil unidades vendidas. Até 2014 tinham sido registados 855 veículos, apenas 0,4% do *stock* europeu. No entanto, com a evolução das vendas nos últimos três anos, em 2017 o *stock* português já representava cerca de 1% do europeu.

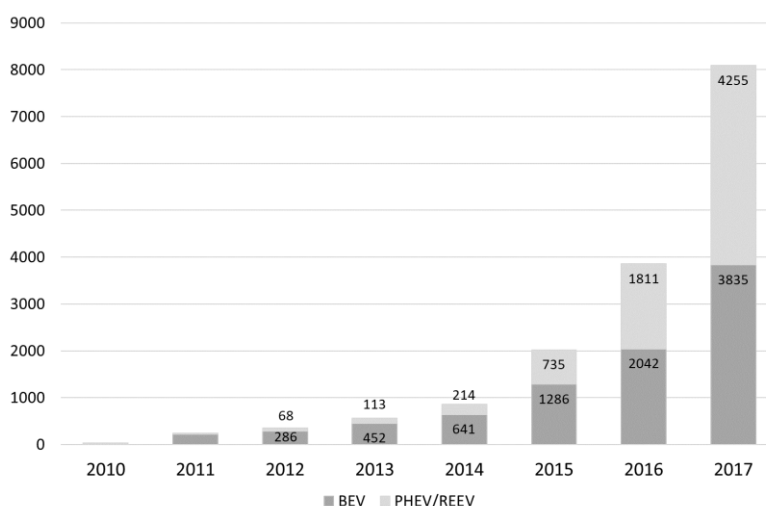


Figura 14 - Evolução do stock de PEV em Portugal de 2010 a 2017.

Fonte: Associação Automóvel de Portugal & Auto Informa (2017) e European Alternative Fuels Observatory (2018).

De forma a obter uma noção da distribuição dos veículos elétricos por Portugal continental pode ser observada a Figura 15, que representa a distribuição do número de veículos elétricos (BEV) ligeiros (não apenas os ligeiros de passageiros, como tem sido apresentado), tanto

particulares como de empresas, com base na localização do registo dos respetivos veículos, até junho de 2018. No total, foram registados 9975 BEV, a sua maioria registados em Lisboa (24%) e Oeiras (14%). Observa-se, claramente, um maior número de BEV registados no litoral de Portugal continental (excetuando nos concelhos do Alentejo Litoral) com alguns concelhos mais continentais a sobressair, nomeadamente Viseu, Mangualde, Covilhã, Évora, Beja e Chaves, apesar de juntos apenas representarem 2% do número total de BEV registados. Se se considerar a segmentação do território de Portugal continental com base na percentagem de BEV registados, constata-se que 50% dos veículos se encontram registados em Lisboa, Oeiras, Cascais (5%), Sintra (3%), Porto (3%) e Vila Nova de Gaia (2%). Ou seja, 50% dos BEV encontram-se registados em apenas cerca de 1% da área total de Portugal continental.

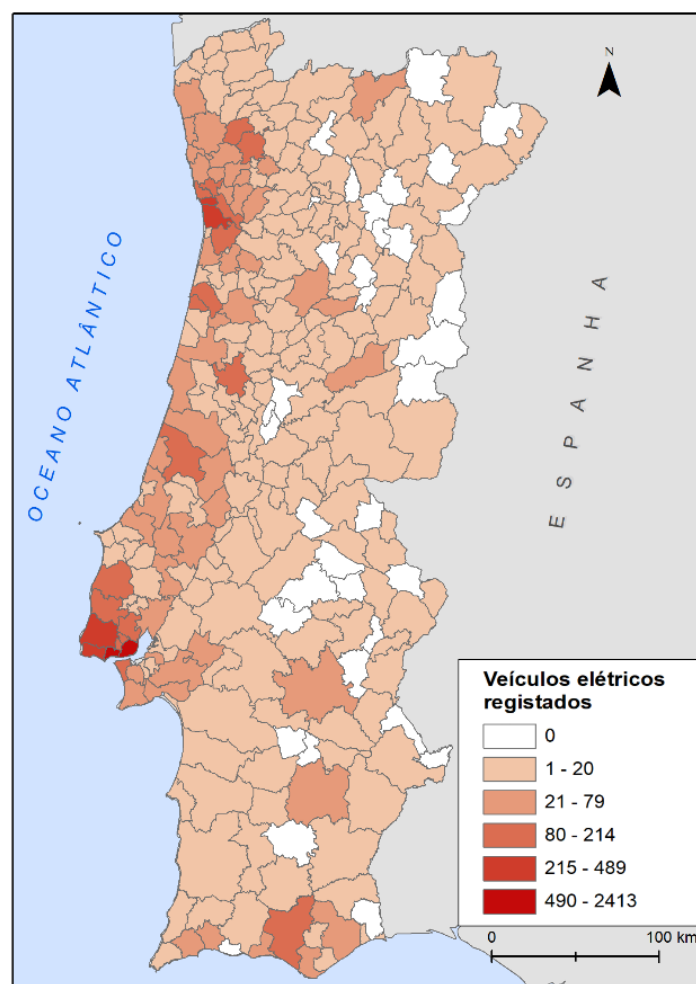


Figura 15 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018 por concelho, em Portugal continental.

Fonte: Londublis.

4. O planeamento da distribuição de postos de carregamento de veículos elétricos

Não há dúvida de que os postos de carregamento constituem um elemento crucial para o desenvolvimento da mobilidade elétrica ao fornecerem energia elétrica aos VE (Ward, 2016; Zhao & Li, 2016), acrescentando o facto de que qualquer sistema de mobilidade requer o desenvolvimento paralelo dos veículos e de uma infraestrutura (Steinhilber, Wells, & Thankappan, 2013), independentemente da área ou extensão em questão (urbano, inter-regional, internacional) (Daniel Chang et al., 2012; Drye & Barrett, 2014; Gao & Guo, 2013; Jing, Yan, Kim, & Sarvi, 2016; Kanters, 2013; Namdeo, Tiwary, & Dziurla, 2013; Santos, 2015).

A disponibilidade de uma rede de postos de carregamento eficiente, conveniente e económica apoia e estimula a decisão do utilizador em comprar o veículo, ao aumentar a confiança da população e reduzir a ansiedade devido à autonomia, e demonstra o apoio à ME (TIPS LAB, sem data; Zhao & Li, 2016). Desta forma, muitas entidades assumem que a promoção dos VE através da instalação de postos de carregamento públicos ajuda, não só a mostrar esse apoio a novas tecnologias, como a atingir os objetivos sustentáveis e a receber incentivos regionais e comunitários (Drye & Barrett, 2014). Também os decisores, nos seus vários cargos (regionais, comunitários, autárquicos, entre outros), têm considerado as infraestruturas de carregamento como um importante serviço para oferecer no futuro e uma maneira de se mostrarem preocupados com o ambiente (Lindblad, 2012).

Assim, e segundo Drye & Barrett (2014), o “Electric Power Research Institute” identificou quatro objetivos principais dos postos de carregamento de VE: 1) **aumentar a autonomia dos PEV**; 2) **promover a aceitação pública** (reduzir a “range anxiety”); 3) **apoiar a aquisição de PEV por parte de indivíduos residentes em habitações multifamiliares**; e 4) **tornar possível viagens longas para os UVE**.

Há, assim, uma necessidade urgente de construir e planejar estrategicamente os postos de carregamento para satisfazer a procura deste serviço e resolver os problemas referidos anteriormente. (Ahn & Yeo, 2015; Namdeo et al., 2013; Wu & Niu, 2017). A localização das infraestruturas é extremamente importante, principalmente no estágio inicial de adoção e na fase inicial de viabilidade comercial (Ward, 2016) e com o crescimento de mercado que se assiste atualmente. Para os governos locais é também importante determinar as localizações para a instalação de postos de carregamento públicos (muitas das vezes as áreas onde estes são instalados pertencem às autarquias), principalmente em áreas urbanas. A procura por postos de carregamento públicos nessas áreas será elevada, uma vez que grande parte dos UVE não terão a oportunidade de realizar carregamento privado (Kanters, 2013). Os ambientes urbanos têm características

únicas que contribuem para a complexidade da problemática da localização-alocação (Ward, 2016), devendo os postos de carregamento públicos servirem os residentes, trabalhadores e visitantes.

Philipsen, Schmidt, Van Heek, & Ziefle (2016) referem que, por um lado, as localizações e distribuição dos postos de carregamento deveriam encorajar os utilizadores habituados a VCI a adquirirem PEV, ou seja, a rede de postos deveria ser estruturada para assegurar que a infraestrutura de carregamento não seria entendida como um impedimento à adoção pela população. Por outro lado, os postos de carregamento devem assentar nos requerimentos dos UVE, que diferem dos desejos e necessidades dos restantes. Segundo ForBühler et al. (2013³⁰, cit. por Philipsen et al., 2016), a experiência com VE tem um efeito positivo significativo na perceção geral da mobilidade elétrica e nas necessidades de carregamento (que diferem das necessidades do veículo convencional), pelo que o planeamento da infraestrutura de apoio deve ser elaborado considerando a utilização do veículo para a qual se destina, neste caso o PEV e não o veículo convencional.

O número de pontos de carregamento tem de ser suficiente para responder à procura, diminuindo também o tempo de espera, visto ser um impedimento à aceitação. Os locais devem ser selecionados de forma a que o tempo de carregamento do veículo se adeque ao horário do utilizador para que não haja a interrupção das atividades para movimentar o veículo. Isto é, o planeamento dos postos tem de se adaptar aos requerimentos e necessidades do UVE e deve ser primeiramente baseado na procura (Philipsen et al., 2016). Uma vez que se reconhece que a infraestrutura de carregamento terá importância no desenvolvimento do mercado dos VE, o conhecimento do perfil dos utilizadores é muito importante para a definição da estratégia de localização dos postos (T. I. da Costa, 2014).

Os postos de carregamento públicos podem dividir-se em quatro tipos com base nos contextos de carregamento do UVE, como pode ser observado no Quadro 3. Dependendo da necessidade do UVE, adequa-se um dos dois tipos distintos de carregamento: normal (lento e semirrápido) e rápido. O carregamento normal segue o padrão de estacionar e deixar o veículo por longos períodos de tempo, adequando-se por exemplo a áreas residenciais e locais de trabalho, enquanto na situação de carregamento rápido, os utilizadores tenderão a esperar no veículo ou dirigir-se a algum local relativamente perto (Frade, Ribeiro, Gonçalves, & Antunes, 2012; Mayfield, 2012).

³⁰ Bühler, F., Franke, T., Schleinitz, K., Cocron, P., Neumann, I., Ischebeck, M., & Krems, J. F. (2013). Driving an ev with no opportunity to charge at home-is this acceptable? In Proceedings of the human factors and ergonomics society Europe.

Raposo (2010³¹, cit. por Raposo, Rodrigues, Silva, & Dentinho, n.d.) refere que o carregamento normal será o modo universal, uma vez que requer poucas alterações em termos logísticos e terá menor impacto na rede de eletricidade. O carregamento enquanto o UVE está em casa, durante a noite, designado no quadro de *Sleep&charge*, é aquele que tipicamente acontece (Drye & Barrett, 2014; Jing et al., 2016), o que significa que a maior parte dos veículos iniciam o dia carregados, possibilitando o usufruto da autonomia máxima do veículo. Seguindo deste, o carregamento no local de trabalho (*work&charge*) também é bem visto pelos UVE, sendo o segundo padrão mais utilizado (Bunce et al., 2014³², cit. por T. I. da Costa, 2014; Elbanhawy & Dalton, 2015), seguindo os carregamentos de menor duração (carregamento normal) nos locais públicos (*shop&charge*) (Drye & Barrett, 2014).

Quadro 3 - Tipos de carregamento público baseado nas necessidades do utilizador.

Duração do carregamento	Tipo de necessidade (geral)	Tipo de posto de carregamento
Carregamento demorado	<i>Sleep&charge</i> (Enquanto o UVE está em casa, durante a noite)	Posto de carregamento normal (lento) - Caso não possuam carregamento privado
	<i>Work&charge</i> (Enquanto o UVE está no trabalho)	Posto de carregamento normal (lento) – Caso não possuam carregamento privado
Carregamento curto	<i>Shop&charge</i> (Enquanto o UVE se desloca a um serviço/atividade/lazer)	Posto de carregamento normal (lento ou semirrápido)
	<i>Coffe&charge</i> (Carregamento em pouco tempo, essencialmente durante uma longa viagem)	Posto de carregamento rápido

Fonte: Adaptado de Funke et al. (2015).

De facto, a afirmação de que o carregamento doméstico corresponde à vasta maioria dos carregamentos está presente em grande parte da bibliografia (Cattaneo et al., 2014; AVTA, 2014; Keros, 2014; BEES, 2013; Calstart, 2013; Boyce, 2012; Mcdonald, 2012; Housely, 2010, cit. por Elbanhawy & Dalton, 2015). T. I. da Costa (2014) afirma, sobre Portugal e favorecendo este padrão de utilização, que é no período de carregamento noturno (*sleep&charge*) que o consumo é menor e, portanto, o carregamento dos VE nesse intervalo não sobrecarregará a rede, pelo contrário, homogeneizá-la-á no que diz respeito aos consumos e é também nesse período que mais energia eólica poderá não ser utilizada. O autor acrescenta que vários estudos têm mostrado a existência de vontade e conveniência no padrão de carregamento mais eficaz para otimizar os recursos renováveis e, portanto, limitar as emissões de gases poluentes (que corresponde ao

³¹ Raposo, J., 2010. Location of charging points for electrical vehicles using decision analysis: Lisbon and Santarém case studies. Instituto Superior Técnico. Lisboa

³² Bunce, L., Harris, M., Burgess, M. (2014) Charge up then charge out? Drivers' perceptions and experiences of electric vehicles in the UK. Transportation Research Part A: Policy and Practice, 59, 278–287.

padrão referido) (EE, 2009; May e Matilla, 2009; Philip e Wiederer, 2010; Skippon e Garwood, 2011; Momber et al., 2011, cit. por T. I. da Costa, 2014).

Se o carregamento rápido se tornasse o carregamento padrão, a procura de eletricidade a colocar na rede seria muito elevada, ao contrário do carregamento normal, como já foi referido (Raposo et al., sem data). Devido à curta duração de carregamento, que corresponde a 20/30 min para obter uma autonomia de cerca de 80% - quanto maior a percentagem de eletricidade armazenada nas baterias menor a potência de carregamento que as mesmas aceitam, pelo que não é possível carregar 100% nos postos de carga rápida -, estes postos são uma boa solução para lidar com viagens de longas distâncias (*coffe&charge*) e realizar carregamentos de emergência (Philipsen et al., 2016), pelo que a sua instalação deve limitar-se a essas necessidades, devido também ao facto de requerem grandes quantidades de energia em pouco tempo e exigirem maiores custos de instalação.

Assim, o problema do planeamento dos postos de carregamento deve ser entendido como um problema de localização-alocação (*Location-allocation*), dado que deve ter em conta sobretudo a procura por parte dos utilizadores. Nesses problemas, do ponto de vista da modelação, as localizações, tanto dos clientes/utilizadores como dos serviços/postos de carregamento, a distância e o custo de deslocação entre os dois anteriores são apresentados como os principais fatores que protagonizam diferentes configurações territoriais (Buzai, 2013). Segundo Tali et al. (2017), os modelos de localização-alocação são importantes na localização de novos serviços, tendo como objetivos o de encontrar localizações ótimas e o de determinar a alocação dos clientes aos respetivos, com a finalidade de atingir uma distribuição espacial muito eficiente e/ou equilibrada. Dentro desses modelos existem diferentes abordagens, dividindo-se principalmente em metodologias que têm como finalidade a localização de um determinado número de serviços e metodologias que, independentemente do número de serviços, pretende localizar o necessário para servir toda a procura.

4.1. Revisão das metodologias aplicadas ao problema da localização dos postos de carregamento públicos

O problema da localização dos postos de carregamento tem sido maioritariamente entendido como um problema de localização-alocação, existindo, como referido, diferentes abordagens, dependendo dos objetivos dos estudos realizados (Elbanhawey & Dalton, 2015), o que resulta na aplicação de diferentes tipos de métodos, e na consequente heterogeneidade dos estudos (Funke et al., 2015). Nesta parte pretende-se fazer uma revisão geral de vários estudos em que se utilizam diferentes métodos com o fim de localizar postos de carregamento para veículos elétricos.

O estudo de Islam, Shareef, & Mohamed (2015) apresenta uma revisão bibliográfica dos métodos utilizados com o objetivo principal de determinar a localização e distribuição em número dos postos de carregamento. Os autores analisaram cerca de 630 estudos publicados entre 2005 e 2014 e dividiram em dois contextos: estudos económicos e estudos relacionados com a rede de eletricidade. Os estudos analisados de contexto económico incorporam várias funções de custo, como a ocupação do solo, construção, operação e transporte, sendo que os métodos que se destacaram, pelo número de utilizações, foram o “*Genetic Algorithm*”, “*Particle Swarm Optimization*”, “*Integer Programming*”, “*Cplex commercial software*” e “*Greedy Algorithm*”. Nos estudos analisados relacionados com o impacto na rede de eletricidade incluem vários aspetos do sistema de eletricidade e funções de custo. Neste caso, os métodos que se destacaram foram o “*Genetic Algorithm*”, “*Particle Swarm Optimization*” e “*Ant Colony Optimization*”. Através desta revisão, os autores construíram um quadro com as vantagens e desvantagens dos métodos destacados, que pode ser observada no Quadro 4.

Quadro 4 – Comparação das diferentes técnicas de otimização da localização e distribuição de postos de carregamento analisadas por Islam et al. (2015).

Algoritmo	Vantagens	Desvantagens
<i>Genetic algorithm</i>	Fácil implementação; Boa aplicação em problemas de localização	Demorado
<i>Particle swarm optimization</i>	Computação simples e possibilidade de encontrar soluções próximas do ótimo	Convergência prematura;
<i>Ant colony optimization</i>	Soluções rápidas e boas	Tempo de convergência é incerto
<i>Greedy Algorithm</i>	Rápido e produz soluções práticas	A solução obtida é normalmente uma solução menos ótima
<i>Integer (linear) programming</i>	Simples; resolve várias combinações de problemas	Apenas considera variáveis lineares; Não resolve problemas estocásticos
<i>Cplex optimization software</i>	Resolve eficientemente diversos tipos de problemas	Dificuldade em modificar rotinas otimizadas

Fonte: Islam et al. (2015).

Zhao & Li (2016), concluem também que grande parte dos estudos relacionados com esta problemática concentram-se em métodos de Decisão Multiobjectivo (Multi-Objective Decision Making - MODM), como a programação linear/não-linear, programação estocástica, programação inteira mista e programação *multilayer*. Reforçam ainda que a maioria dos casos, algoritmos heurísticos, como o *Genetic Algorithm* e *Particle swarm optimization*, são aplicados para gerar uma solução ótima, contudo, identificam duas grandes críticas aos métodos de decisão multiobjectivo. Primeiro, apesar da otimização dos modelos ser notável, é improvável que sejam aplicados na prática, devido à complexidade em modelar problemas reais. Segundo, os modelos

de otimização apenas consideram variáveis quantitativas, não sendo capaz de modelar variáveis qualitativas.

Apesar de a maioria utilizar abordagens matemáticas, os estudos divergem no tipo de análise espacial conjugada, bem como nos critérios considerados, sendo que de seguida são apresentados alguns exemplos dos vários estudos e métodos aplicados para a resolução deste problema:

- O estudo de Funke et al. (2015) aborda a necessidade de postos de carregamento em número numa perspetiva de máxima cobertura geográfica e de cobertura da procura, concluindo que na fase inicial da transição para a ME, a perspetiva de colmatar a procura leva à necessidade de menos postos de carregamento do que a perspetiva da cobertura geográfica, sendo mais adequado;
- Gao & Guo (2013), para uma fase de demonstração pública aplicaram o modelo de “cobertura máxima” e para uma fase de operação comercial utilizaram o diagrama de Voronoi. Sendo, depois, a alocação ótima dos postos de carregamento estabelecida pelo modelo M/M/c (teoria da fila);
- O método proposto por Saelee & Horanont (2016) utiliza dados provenientes de telemóveis para determinar a autonomia real (casa-trabalho; trabalho-casa) e simular locais de necessidade de postos de carregamento, aplicando depois o algoritmo de agrupamento para estimar as localizações ótimas das identificadas anteriormente;
- O estudo de Shao-yun, Liang, Hong, & Long (2012) propõe um modelo de planeamento para áreas urbanas que considera a estrutura da rede viária, informações das rotas, a estrutura do sistema de distribuição e restrições de capacidade, entre outros, selecionando os locais para instalação dos postos de carregamento com o objetivo de minimizar o custo de deslocação do UVE e da instalação do posto. O modelo realiza a auto partição das “áreas de serviço” dos postos através do diagrama de Voronoi ponderado e realiza a alocação ótima da capacidade dos postos baseada na teoria da fila (queuing theory);
- O estudo de Chen, Kockelman, & Khan (2013), com um conceito diferente, baseia-se em *Integer Programming*. Os autores assumem que a procura de estacionamento aproximar-se-á à procura de postos de carregamento, aplicando um método baseado nessa assunção para identificar possíveis localizações de postos não residenciais em Seattle. O método, além de identificar os parques mais procurados com base na informação do uso do solo e na modelação de rotas, assegura que os postos não estão muito agrupados, minimizando a distância total do sistema de viagens ao posto de carregamento, depois de assumir o custo máximo e o limite da distância percorrida a pé. No fundo as localizações ótimas são determinadas em função da procura do estacionamento e da distância/custo ao mesmo (a pé);

- A tese de Kanters (2013) foca-se nos desafios espaciais que o mercado crescente de serviços de carregamento público implica, tendo sido definido o objetivo de “criar um modelo de *location allocation* (localização-alocação) para postos de carregamento públicos”, mais precisamente “criar soluções para o problema da localização de postos de carregamento públicos no município de Eindhoven (Holanda)” (p.8). Para tal, o autor utiliza como métodos de investigação a otimização multiobjectivo, o modelo baseado em agentes, mas combinado com um SIG, para criar um ambiente com a distribuição dos veículos elétricos, constituindo o modelo de localização-alocação numa perspetiva determinística. No problema da localização-alocação, o autor considera uma distância máxima percorrida a pé como fator determinante de utilização do posto de carregamento e considera uma estimativa de procura de cerca de 2000 veículos com uma distribuição aleatória na área de estudo, com ilustração do seu movimento ao longo do dia, determinando o ambiente do modelo. O autor conclui que o modelo desenvolvido pode ser utilizado para alocar localizações para postos de carregamento, no entanto, foi utilizada uma distribuição aleatória dos veículos elétricos em vez de uma distribuição de potenciais utilizadores, parte-se do princípio de que o modelo pretenda apenas dar uma resposta à procura e não a potenciar, o que seria importante para o ano definido no estudo (2020);
- Na tese de Kandukuri (2013) é proposto um modelo baseado no *maximum coverage* (cobertura máxima) e no método lógico geométrico para otimizar a localização de postos de carregamento considerando os veículos e os UVE, e dando prioridade à acessibilidade dos postos. Os resultados da modelação integrada e otimização matemática numa plataforma SIG provaram que o modelo proposto é capacitativo na seleção das localizações próprias;
- Jing et al. (2016), acrescenta que o problema da localização ótima dos postos de carregamento para VE tem sido investigado por vários investigadores utilizando o modelo “*flow refueling location*”, que pretende assegurar que um “fluxo” seja entendido como reabastecido ao colocar uma série de infraestruturas numa rota suficiente para abastecerem as viagens entre a origem e o destino, onde a autonomia do veículo é conhecida.

Segundo Ward (2016), e como foi exemplificado, as abordagens matemáticas – maioritariamente a abordagem da máxima cobertura dos postos e minimização do número de localizações baseadas na procura - têm sido a escolha para identificar as melhores localizações de instalação de postos de carregamento. O autor refere que a maioria dos algoritmos utilizados possuem limitações naquilo que conseguem representar, como opiniões, conhecimento e fatores sociais e ambientais. Pelo contrário, os modelos de decisão multicritério consideram tanto variáveis quantitativas como variáveis qualitativas, que o autor acrescenta serem importantes para a seleção dos postos de carregamento, ainda que existam sempre limitações, pelo facto da

avaliação multicritério mudar consoante os objetivos. Tem havido pouca investigação que utiliza métodos de Análise Multicritério (AMC) na identificação de locais ótimos para a instalação de postos de carregamento, contudo, esses métodos quando combinados com SIG representam um maior número e detalhe na seleção dos critérios, tendo sido elaborado um quadro que possui uma comparação da maioria dos métodos de alocação-localização utilizados (Quadro 5), na qual se verifica que apesar de não incluir uma rede de localizações, a abordagem PAH-SIG é a que inclui a maior variedade dos aspetos considerados .

Quadro 5 - Comparação entre métodos de localização-alocação.

Model type	Network of locations	Fills gap in knowledge	Geographic solution	Usable with qualitative data	Usable with expert judgement	Ranking of locations
<i>p</i> -median	X	-	X	-	-	-
Max-covering	X	-	X	-	-	-
Set-covering	X	-	X	-	-	-
Agent based models	X	-	X	-	-	-
Multi-criteria decision making	-	-	-	X	-	X
Analytic hierarchy process	-	X	-	X	X	X
GIS-AHP	-	X	X	X	X	X

Fonte: Ward (2016).

O estudo de Ward (2016) teve como objetivo desenvolver uma ferramenta geográfica que faz uma análise dos ambientes urbanos na Holanda considerando fatores relacionados com o carregamento rápido, com fim de encontrar localizações ótimas na cidade para a instalação de postos de carregamento rápido. Para isso utiliza uma abordagem do método do Processo Analítico Hierárquico (PAH) baseado em SIG. O autor determinou, através de uma análise de sensibilidade, que a abordagem PAH-SIG possibilita uma tomada de decisão efetiva, uma vez que incorpora o conhecimento de profissionais na matéria e considera múltiplo fatores urbanos, desenvolvendo uma solução eficiente, realística e substancialmente geográfica para este complexo problema. Este método provou ser flexível e importante para os decisores, tendo sido selecionados os locais ideais para instalação dos postos rápidos com base em 11 critérios espaciais. Ward (2016) foi um dos autores que desenvolveu o seu estudo com base em Sistemas de Informação Geográfica (SIG). Grande parte dos estudos de localização desta temática utilizam SIG, mas nem todos desenvolvem a metodologia com base nesses sistemas.

Na sua tese, Jin (2016), que tinha como objetivo determinar onde instalar postos de carregamento para veículos elétricos perto de equipamentos públicos (ex: bibliotecas) em Los Angeles, utilizou uma metodologia baseada em análise espacial. No estudo foi considerada a demografia dos UVE existentes, para identificar os potenciais utilizadores, e as estradas principais, entrando ambos na metodologia para seleção dos melhores locais públicos. A autora concluiu que o estudo de análise espacial baseada em SIG fornece informação útil para a instalação de postos de carregamento.

Na sua tese, Lindblad (2012) identificou três casos em que os métodos de desenvolvimento espacial podem ser utilizados no processo de planeamento, cada caso com um método específico utilizando SIG: carregamento público lento e rápido dentro da área da cidade e estações de carregamento ao longo de uma estrada principal. Segundo a mesma autora, a infraestrutura de carregamento tem de ser desenvolvida em consideração com os requisitos, padrões de condução e necessidades de carregamento dos UVE. Lindblad (2012), para o caso de carregamento público lento, definiu como local de preferência os parques de estacionamento com acesso próximo à rede de eletricidade, calculando depois as áreas de serviço (áreas favoravelmente percorridas a pé a partir dos locais identificados) e identificando o número de habitantes dentro dessas áreas que posteriormente foram comparadas entre si por forma a identificar as áreas com maior potencial de implementação de postos. No caso de carregamento público rápido, a autora identificou as áreas de estacionamento de curta duração como locais favoráveis à instalação desses postos e, atendendo à densidade de tráfego das estradas, aplicou uma ferramenta (Network Analysts Location Allocation, da ESRI) para estimar a melhor localização para instalação de postos para melhor servir a procura (densidade de tráfego). A conclusão foi de que os SIG fornecem várias ferramentas úteis no planeamento da distribuição de postos de carregamento.

O Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion (2014) aplicou também uma AMC para seleccionar as localizações para instalação de postos de carregamento segundo vários critérios, como a intermodalidade, estacionamento, entre outros, procedendo depois a uma análise multicritério dinâmica para definir uma ordem de investimento (ordem de colocação para as localizações).

Caviedes, Williams, & Jiang (sem data) aplicaram um modelo para gerar localizações para instalação de postos de carregamento próximo às áreas multifamiliares e de elevada concentração de uso automóvel, mas longe dos postos já existentes. Para tal, através dos SIG efetuou várias análises de preparação de variáveis, juntando-as depois com o método “*weighted overlay*”.

Gkatzoflias et al. (2016) identificaram dois casos para a instalação de postos de carregamento: uma rede de cidade (rede urbana) e uma rede regional ou nacional (rede rural/autoestrada). Em ambos os casos foi utilizada uma metodologia suportada em SIG. No primeiro caso são identificadas as áreas com elevado potencial de instalação, considerando variáveis como estatísticas da população, parques de estacionamento, a rede de eletricidade, equipamentos públicos e transportes públicos, que resultam num mapa depois de somadas proporcionalmente. No segundo caso, para a rede de autoestrada é aplicado um algoritmo que compara todas as distâncias da rede entre postos de combustível e áreas de descanso, seleccionando aqueles que fornecem a solução ótima tendo em conta a autonomia do veículo. Para a rede rural,

o algoritmo prevê a localização adequada de maneira que sejam realizadas viagens pela região sem que a bateria fique descarregada.

Por fim, Namdeo et al. (2013) desenvolveram uma metodologia em SIG que recorre a análises espaciais multidimensionais e análise multicritério, de forma a combinar as características socioeconómicas e das rotas num contexto baseado na procura, aplicando-a a um caso de estudo no Nordeste da Inglaterra.

4.1.1. Estudos realizados em Portugal

Em Portugal, foram divulgados alguns estudos de localização. Raposo et al. (sem data), em Angra do Heroísmo, visaram aplicar uma metodologia denominada Dynamic-PHROMETHE, consistindo numa metodologia de decisão multicritério que considera múltiplos critérios para descrever necessidades futuras de postos de carregamento baseados em dados atuais, e que já tinha sido aplicada para os casos de Lisboa e Santarém por Raposo (2010³¹, cit. por Raposo et al., sem data), do qual, no caso de Lisboa, segundo o autor, a metodologia serviu como base para a implementação da rede de postos de carregamento existentes. De modo a resolver o problema da identificação das localizações e do número de localizações em qualquer espaço ou dimensão geográfica, para diferentes anos, o referido método foi incorporado numa ferramenta desenvolvida pelo autor. A ferramenta efetua o desenvolvimento das instalações necessárias individualmente, tendo em conta e atualizando a informação nas decisões tomadas. A mesma resulta numa lista de postos a instalar para cada localização alternativa (parques de estacionamento) que conformem com a procura prevista. Esse estudo foi realizado numa altura em que a mobilidade elétrica em Portugal não era representativa, pelo que foi utilizada informação dos hábitos de mobilidade (convencional) do ano em questão. Foram considerados como critérios a capacidade dos parques, a procura por parque, a caracterização da área e a existência de postos de carregamento (no início do modelo não havia postos de carregamento).

Frade et al. (2012) visaram encontrar localizações ótimas para a colocação de postos em Avenidas Novas, Lisboa. A metodologia utilizada foi baseada no modelo “*maximal covering*” para otimizar a cobertura da procura dentro de um nível aceitável de oferta e definir o número e capacidade dos postos a serem instalados.

T. I. da Costa (2014), na sua tese de mestrado, visou propor uma estratégia para a localização dos pontos de carregamento para o veículo elétrico e materializar essa estratégia para a cidade do Porto. A estratégia utilizada para a localização de “postos para carregamento doméstico” compreendeu a adequação dos mesmos à procura (potencial), isto é, a ideia que sustenta a estratégia é perceber onde se encontram os possíveis *early adopters* do VE que não têm garagem privada, considerando também o número de viagens pendulares, e escolher esses locais

para a colocação dos postos de carregamento. O autor utilizou a Análise de Componentes Principais para simplificar o número de variáveis iniciais (descritivas dos potenciais utilizadores) num número de variáveis hipotéticas, integrando e interpretando as componentes resultantes em *software* SIG e seleccionando de seguida os quarteirões (nível geográfico do INE) com valores elevados. Numa perspetiva de dissuasão da ansiedade (*range anxiety*), o autor decidiu associar a localização dos postos de carregamento às praças de táxi, optando por escolher os locais com maior densidade dessas instalações.

Por fim, Ricardo (2012), na sua tese de mestrado, baseou-se numa metodologia que incorpora SIG e AMC para definir localizações de áreas estratégicas de *Park&Ride*. Nomeadamente, locais onde seja permitido o estacionamento de veículos elétricos, possibilitando o seu carregamento, e ainda a utilização de transportes públicos para a deslocação no centro da cidade do Porto. O autor considerou vários critérios (proximidade às estações de metro, distância do centro da cidade, proximidade a vias de acesso, localização em relação à Via de Cintura Interna e proximidade a postos de carregamento), comparando-os par-a-par com o método PAH para definir o peso de cada critério e sobrepondo-os com a ferramenta “*weighted overlay*”, que realiza uma sobreposição ponderada. O autor concluiu que os SIG são um meio eficaz para resolver problemas de localização.

4.2. Critérios considerados no problema da localização de postos de carregamento

A heterogeneidade dos estudos leva a que sejam considerados diversos critérios, como Wu & Niu (2017) afirmam. Considerando os estudos abordados na questão metodológica da resolução do problema, pretende-se fazer uma abordagem aos critérios espaciais comumente utilizados, tendo sido elaborados três quadros que por questão de dimensão foram colocadas em anexo. Os quadros correspondem a critérios considerados no planeamento dos postos de carregamento na sua generalidade (Quadro 15), dos postos de carregamento normal (Quadro 16) e postos de carregamento rápido (Quadro 17).

Na generalidade, parte dos estudos considera a proximidade à rede de eletricidade adequada um critério importante, para reduzir custos de instalação e minimizar perdas energéticas. No caso dos postos normais, a conexão pode ser realizada em qualquer área da rede, no entanto, os postos rápidos requerem elevada potência energética, devendo ser consideradas as subestações. A visibilidade e acessibilidade é também um critério considerado por vários autores, defendendo que os postos devem estar visíveis e acessíveis para não dificultar a sua utilização. O critério anterior remete para a segurança do local, outro critério considerado, alegando que os locais

devem possuir características, como iluminação, baixa criminalidade, entre outras, que garantam a sua segurança. Outro critério alude a que o posto não deve ser instalado em áreas de risco, principalmente com risco de inundação, bem como em áreas de proteção ambiental.

Mais especificamente, para os postos de carregamento normal, a maioria dos autores considera a proximidade às áreas de residência dos UVE, a proximidade às áreas de trabalho e a proximidade aos equipamentos comerciais, de serviço e lazer. Estes três critérios, assumindo diferentes formas, são os mais referidos na bibliografia explorada, com o objetivo de assegurar a oferta nos diferentes contextos de necessidade dos UVE. Alguns autores consideram a inexistência de garagem privada, no caso das áreas residenciais, por forma a excluir os UVE que têm a oportunidade de efetuar carregamento doméstico e também consideram os locais onde é permitida a intermodalidade, para que os UVE possam conectar com outros modos de transporte e acessem a novos destinos e oportunidades. A proximidade às principais estradas ou às rotas dos UVE é igualmente um critério considerado em alguns estudos, assim como a existência de postos de carregamento como um fator restritivo. Os locais de estacionamento (parques na sua maioria) são os locais específicos que mais se adequam à instalação de postos de carregamento, pelo que são bastante considerados pelos diferentes estudos. Outro critério bastante utilizado é a proximidade às áreas, normalmente tendo em conta uma distância favoravelmente percorrida a pé, considerando a distância entre o utilizador e os postos de carregamento.

No caso dos postos de carregamento rápido, foram incluídas a proximidade às estradas principais e/ou a áreas com tráfego intenso, dado o contexto de carregamento que é efetuada. Alguns autores consideraram também os locais de origem, áreas de residência, por exemplo, e os locais de destino (equipamentos turísticos, lazer, entre outros). Para este tipo de carregamento, os locais específicos considerados para instalar os postos foram os postos de combustível e as áreas de serviço, sendo locais que já existem com o fim de abastecerem os veículos.

5. Caso de estudo – Planeamento de postos de carregamento públicos no concelho de Lisboa

O presente caso de estudo tem como objetivo a estruturação de uma rede ótima de postos de carregamento públicos para a cidade de Lisboa, considerando a localização e o número, de maneira a servir os potenciais utilizadores residentes e empregados. A metodologia passa pela identificação das áreas ideais para a colocação de postos de carregamento públicos normal e rápido e, seguidamente, pela distribuição ótima dos postos de carregamentos nas áreas identificadas anteriormente, com base na potencial procura. O estudo será dividido em postos de carregamento normal e postos de carregamento rápido, dado as diferentes características. Para o caso dos postos de carregamento normais, haverá ainda uma subdivisão, correspondendo à diferenciação dos métodos para a colocação de postos de carregamento em áreas residenciais (*Sleep&charge*) e colocação em áreas de trabalho (*Work&charge*). Também neste caso de estudo, o planeamento de postos de carregamento é entendido como um problema de localização-alocação, recorrendo a um SIG. Os SIG juntamente com as abordagens matemáticas, permitem uma simulação em tempo real da rede de transportes, acompanhada com uma elevada precisão, uma vez que utiliza a distância tempo real, oferecendo uma abordagem mais direta que os modelos matemáticos convencionais (Tali et al., 2017).

No caso dos postos de carregamento normal públicos em áreas residenciais, considerado o contexto de carregamento mais utilizado, a metodologia passa primeiro pela identificação e quantificação dos potenciais utilizadores na área em estudo, resultado da combinação ponderada dos critérios que caracterizam o UVE atual com recurso a uma Análise Multicritério (AMC) juntamente com o método Processo Analítico Hierárquico (PAH) (Figura 16). O Processo Analítico Hierárquico (PAH), consiste na ponderação dos pesos dos critérios, assentando na hierarquização e comparação entre os mesmos com base nos conhecimentos preexistentes do analista (Saaty, 2008; Saaty, 1990). As vantagens da utilização deste método, que é bastante utilizado, prendem-se com o facto de ser feita uma simples comparação entre os critérios, numa estrutura hierárquica que permite aos analistas decidir consoante os seus objetivos, de ser possível verificar a consistência dos pesos atribuídos (Grau de Consistência – CR) e de ser versátil (poder ser calibrado).

Para os postos de carregamento normal nas áreas de trabalho, dado que não havia informação que caracterizasse os indivíduos empregados, a seleção foi efetuada tendo em conta os residentes potenciais utilizadores (resultante da metodologia anterior). As fases posteriores, tanto nas metodologias dos postos de carregamento normal nas áreas de residência como nas áreas de trabalho, são idênticas, tratando-se da criação de uma malha de postos candidatos adequada e,

de seguida, para distribuição da rede ótima de postos de carregamento, da criação de um modelo de análise de redes, nomeadamente o modelo *New Location-allocation* com uma abordagem de cobertura de máxima capacidade (Figura 16 e Figura 17).

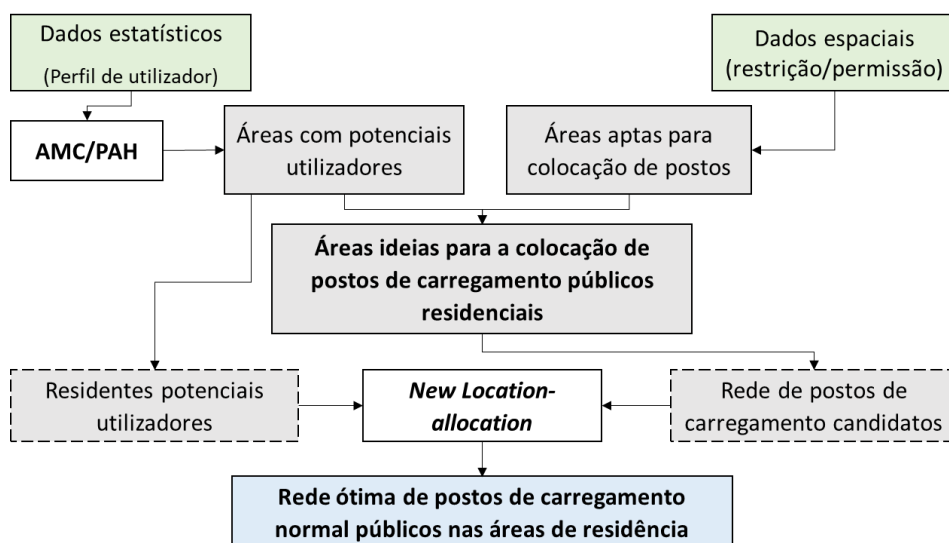


Figura 16 - Esquema conceptual do processo de obtenção da rede ótima de postos de carregamento normal nas áreas de residência.

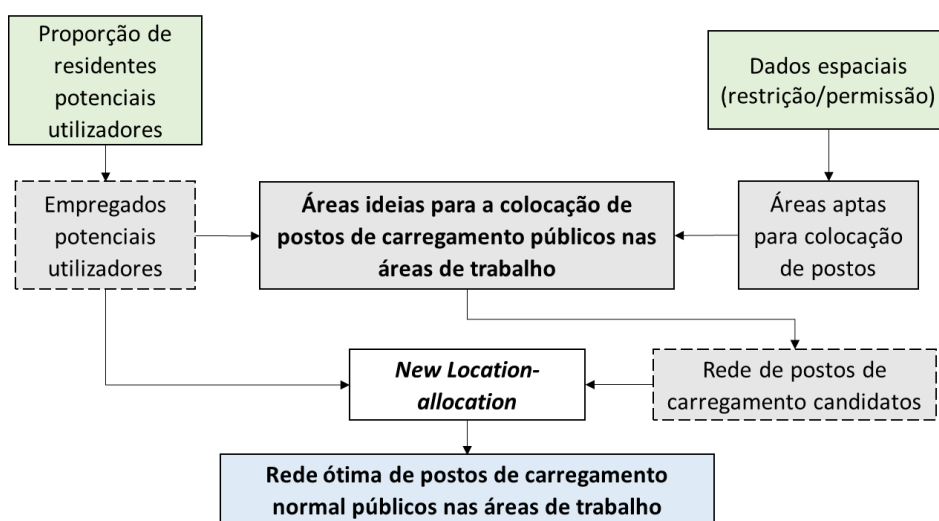


Figura 17 - Esquema conceptual do processo de obtenção da rede ótima de postos de carregamento normal nas áreas de trabalho.

O *New Location-Allocation* permite escolher pontos de um ficheiro de pontos de entrada que representa a oferta (*facilities*) baseado na interação potencial com os pontos de procura (*demand points*)³³. O objetivo é situar os pontos (postos de carregamento, neste caso) de tal forma

³³http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/types-of-network-analyses.htm#ESRI_SECTION1_DEAE22E63F944F6C958668B8C4AA96DA, acedido a 3 de julho de 2018.

que sirvam os pontos de procura (potenciais utilizadores) da maneira mais eficiente³⁴. Assim, o método localiza os pontos de oferta e aloca os pontos de procura. Como foi referido em Funke et al. (2015), numa perspetiva que quando comparada com a perspetiva da cobertura geográfica, a abordagem da cobertura máxima leva a uma menor quantidade de postos de carregamento. Além dessa questão da quantidade, a perspetiva de colmatar a procura, conhecendo a distribuição espacial da mesma, permite a aproximação dos postos aos seus utilizadores e/ou potenciais utilizadores, indo ao encontro com os objetivos dos estudos de localização dos pontos de carregamento em Portugal, no âmbito do Decreto-Lei n.º 90/2014, de 11 de junho, como foi também referido.

No caso dos postos de carregamento rápido, a metodologia difere das anteriores, uma vez que o contexto de carregamento é distinto. Trata-se de uma metodologia simples, sem modelação, que se baseia na seleção dos postos de combustível que se localizam nas áreas de concentração de potenciais utilizadores e ao longo da rede viária principal e de elevado volume de tráfego.

5.1. Caracterização da área de estudo

Lisboa tem uma área de cerca de 86 km², insere-se na sub-região de Grande Lisboa, na costa ocidental de Portugal continental, situando-se na margem norte do rio Tejo (Figura 18) e é constituída por 24 freguesias, cuja identificação e limites se observam na figura referida anteriormente, na qual também se identificam os concelhos envolventes. Em 2011, Lisboa contava com cerca de 552 mil residentes (Instituto Nacional de Estatística - INE), valor calculado a partir dos dados dos censos de 2011, ajustado à área atual – acréscimo da área no Parque das Nações-. Segundo a Autoridade de Supervisão de Seguros e Fundos de Pensões (ASF)³⁵, em 2016, o parque automóvel seguro em Lisboa continha cerca de 303 mil veículos ligeiros de passageiros e cerca de 17 mil motociclos. Na Figura 18 observa-se também o limite das freguesias entendido como sendo a área central da área de estudo, tendo em consideração a configuração da rede viária e a tipologia de edificado. Este limite da área central foi definido para uma melhor descrição dos dados gerados durante o estudo, tendo uma área total de cerca de 22 km².

³⁴ <http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/latest/extensions/network-analyst/location-allocation.htm>, acedido a 3 de julho de 2018.

³⁵ <http://www.asf.com.pt/NR/exeres/7D383D46-9431-416E-98C7-395B0A9E7080.htm>, acedido em 17 de junho de 2018.

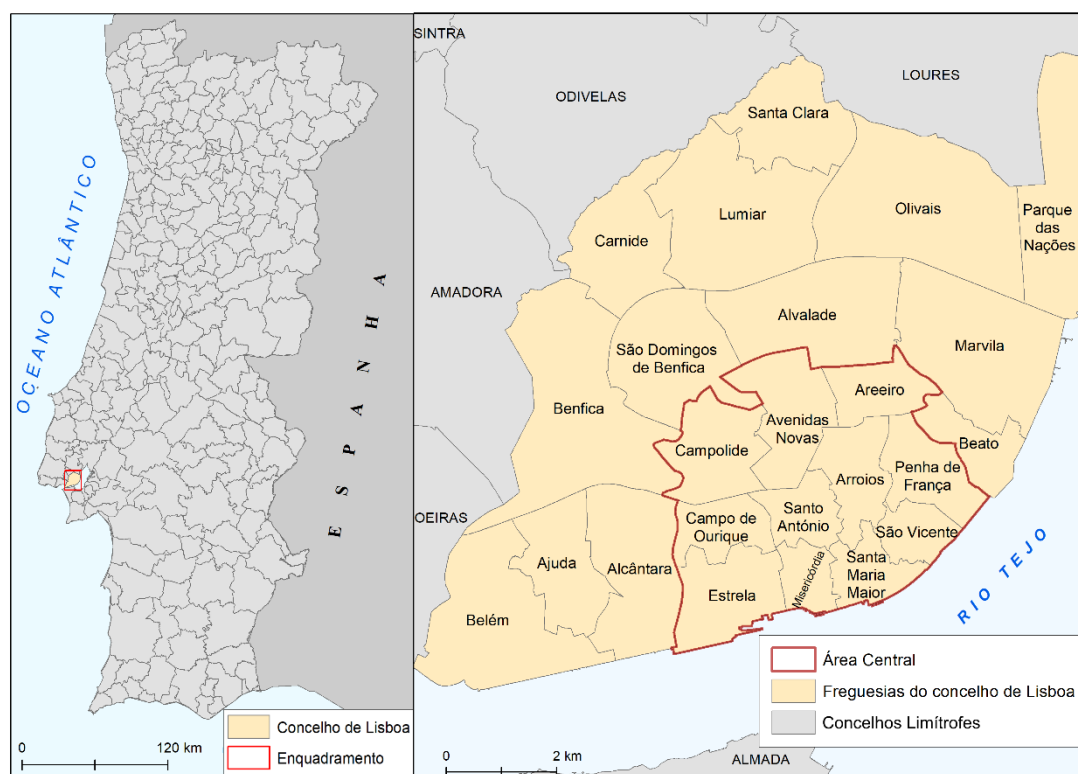


Figura 18 - Enquadramento da área de estudo.

Fonte: IGP, CAOP 2016.

Segundo o INE, censos de 2011, de cerca de 305 mil movimentos pendulares no concelho, a maioria, 34%, eram realizados por automóvel ligeiro (condutor), 19,4% de autocarro, 17% a pé, 13,6% de automóvel ligeiro como passageiro, 11,6% de metropolitano e os restantes divididos entre transporte público e coletivo, à exceção da bicicleta que representava 0,2% dos movimentos. Ainda à data dos censos, cerca de 47 mil pessoas saíam do concelho para trabalhar e estudar, contrariamente às 426 mil que entravam no território para o mesmo efeito, podendo concluir-se que por cada residente que saía de Lisboa entravam na cidade 9 pessoas por motivos de emprego ou estudo. Grande parte desses movimentos realizavam-se dentro da Área Metropolitana de Lisboa.

A rede viária de Lisboa tem ainda uma importância significativa para algumas das deslocações internas à AML e sem destino Lisboa, nomeadamente o Eixo Norte-Sul e a 2ª Circular (Departamento de Planeamento Urbano, 2009). A rede viária pode dividir-se em rede fundamental, correspondendo à rede estruturante e de distribuição principal (1º e 2º nível) e rede local, correspondendo à rede de distribuição secundária, de proximidade e de acesso local (3º e 4º nível) (Câmara Municipal de Lisboa, 2012; Departamento de Planeamento Urbano, 2009). Na Figura 19 estão representadas a rede estruturante, rede de distribuição principal e rede de distribuição secundária (nível 1, 2 e 3, respetivamente). A rede fundamental (1º e 2º níveis), que possibilita a conexão com a periferia suburbana e a ligação entre os principais polos da cidade,

em 2004, absorvia cerca de 72% do tráfego da cidade, correspondendo a apenas 32% (340 km) da rede do concelho.

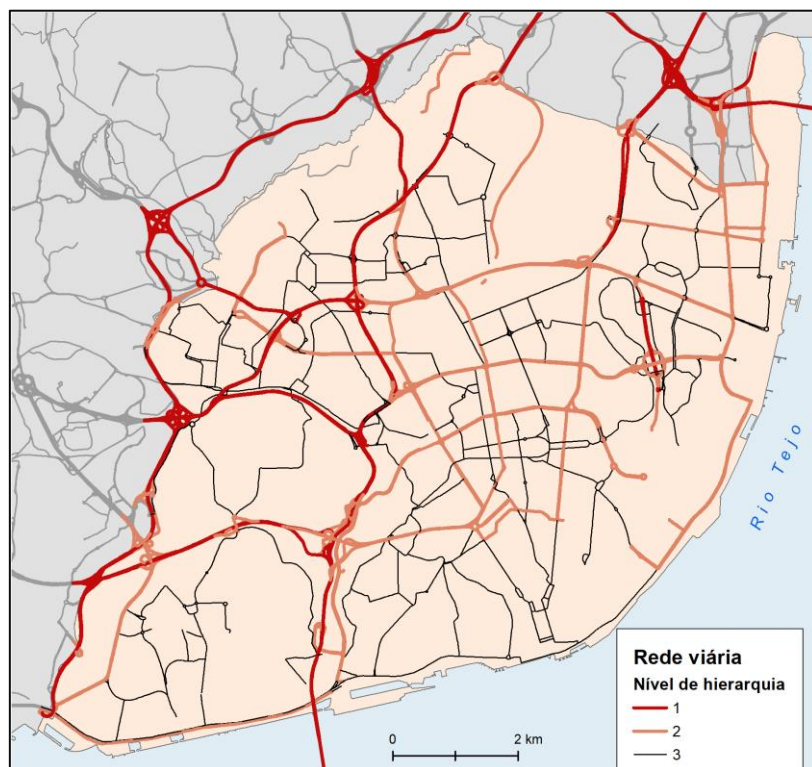


Figura 19 – Rede viária hierarquizada no concelho de Lisboa.

Fonte: Geodados Lisboa³⁶.

A cidade de Lisboa é um polo atrator de tráfego, estando rodeada por um conjunto de concelhos que diariamente geram tráfego de entrada na cidade, possuindo assim, segundo Brito (2012), grandes corredores que estabelecem a ligação com os concelhos limítrofes, nomeadamente: Cascais (A5 e EN 6 – Avenida Marginal), Sintra/Amadora (IC 19 e EN 117), Odivelas/Loures (IC 22 – Radial de Odivelas), corredor Oeste (A8), corredor Norte (A1, EN 10 e variante IC2), Ponte Vasco da Gama (A12) e Ponte 25 de Abril (A2).

Segundo a Câmara Municipal de Lisboa (2012) e o Departamento de Planeamento Urbano (2009), estima-se que nesses acessos circulassem diariamente, em 2003, cerca de 826 mil veículos (nos dois sentidos), dos quais 412 mil veículos tinham como destino Lisboa e 181 mil veículos utilizavam as vias do município para movimentos de atravessamento. Em 2009, a estimativa era de que existissem menos 22 mil veículos.

O concelho de Lisboa tinha, segundo dados da Londublis (Figura 20), cerca de 2400 veículos elétricos ligeiros registados até junho de 2018, representando assim, como já foi referido, cerca de 24% do total de BEV registados em Portugal continental. Como se observa na figura, há

³⁶ <http://dados.cm-lisboa.pt/dataset/rede-viaria-escala-1-20000>, acedido a 4 de julho de 2018

claramente freguesias que têm mais veículos registados, no entanto, tratam-se BEV registados na entidade que concedeu o crédito. 40% dos BEV registados em Lisboa localizam-se nessas entidades. Além disso, também há presença de vários locais com elevado número de veículos, tratando-se provavelmente de empresas, estimando-se que sejam cerca de 32% os BEV nessa situação. Estima-se que os restantes 28% correspondem a BEV com elevadas probabilidades de pertencerem a particulares, dado que estão dispersos pelo território em que, no máximo, a um local estarão associado 2 veículos.

Apesar de não haver certeza destes valores, é interessante observá-los na área de estudo, sendo possível observar a distribuição de BEV com probabilidade de pertencerem a empresas na Figura 21 e a distribuição de BEV com probabilidade de pertencerem a particulares na Figura 22. Os dois mapas apresentam configuração diferentes. Na Figura 21 destacam-se as freguesias de Santo António, Avenidas Novas, Santa Maria Maior e Parque das Nações, destacando-se também uma área a oeste no território que não apresenta BEV, compreendida pelas freguesias de Benfica, Ajuda e Belém. Na Figura 22, as freguesias Parque das Nações e Avenidas Novas destacam-se, como na anterior, mas destacam-se também Alvalade e Lumiar, dando a entender uma deslocação para norte, afastando-se do centro, e Belém, que na Figura 21 não apresentava BEV registados, à semelhança de Benfica e Ajuda que neste caso apresentam valores.

Na Figura 23 foi efetuada a divisão entre as duas estimativas/probabilidades. O resultado dessa estimativa indica que, no centro, as freguesias Avenidas Novas, Santo António e Santa Maria Maior terão mais BEV registados em empresas do que de particulares, assim como as freguesias localizadas na margem do rio Tejo, desde as referidas até à freguesia Parque das Nações e Olivais, incluídas. As restantes áreas terão, em estimativa, um maior número de BEV registados de particulares.

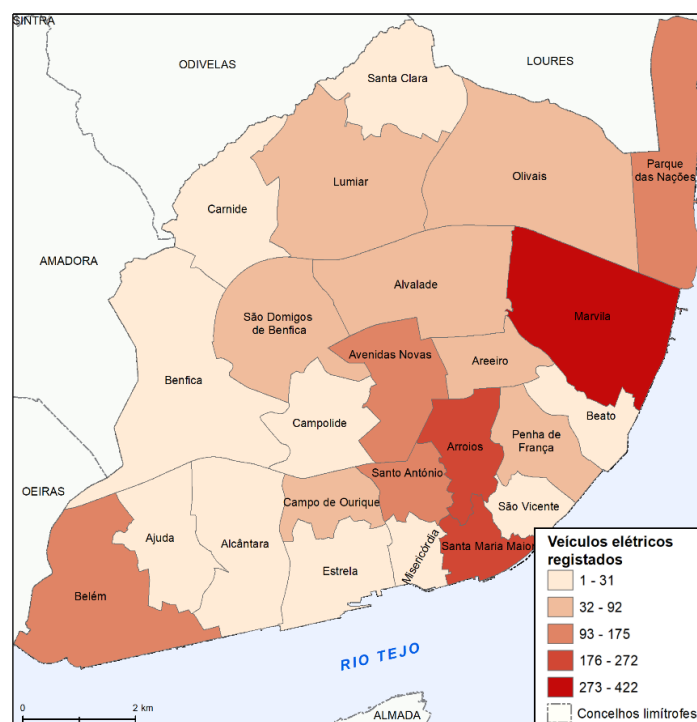


Figura 20 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018, por freguesia na área de estudo.

Fonte: Londublis

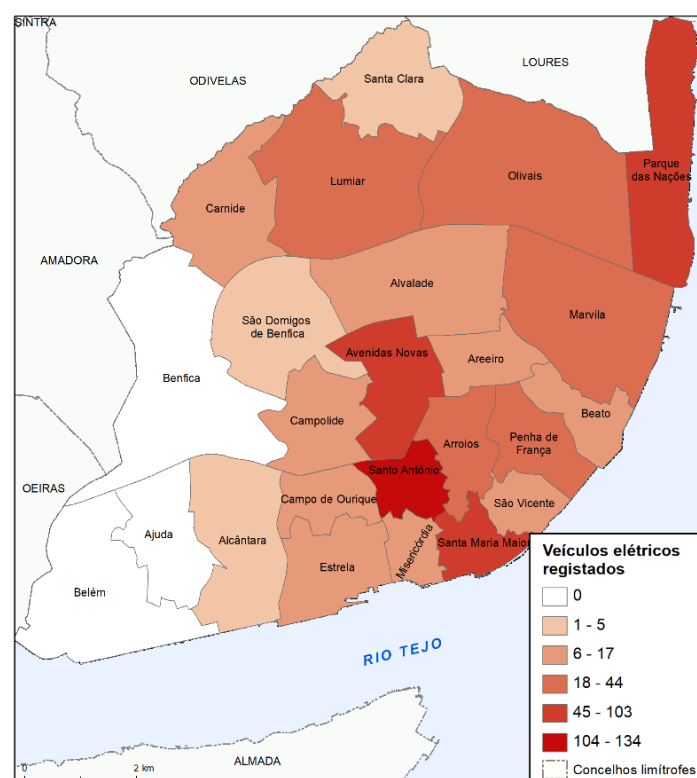


Figura 21 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018 com probabilidade de pertencerem a empresas, por freguesia na área de estudo.

Fonte: Londublis.

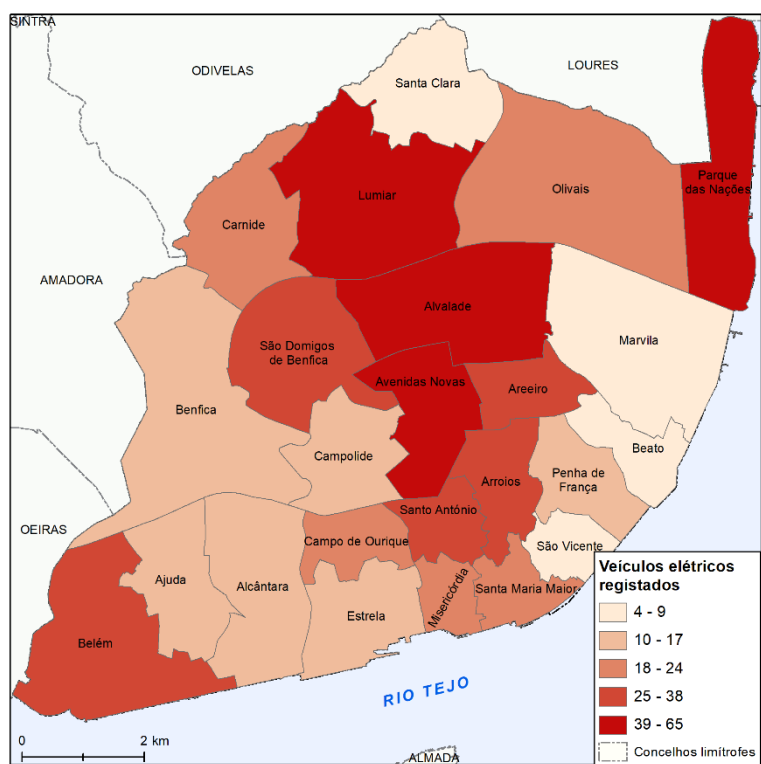


Figura 22 - Veículos elétricos ligeiros a bateria registados até junho de 2018 com probabilidade de pertencerem a particulares, por freguesia na área de estudo.

Fonte: Londublis.

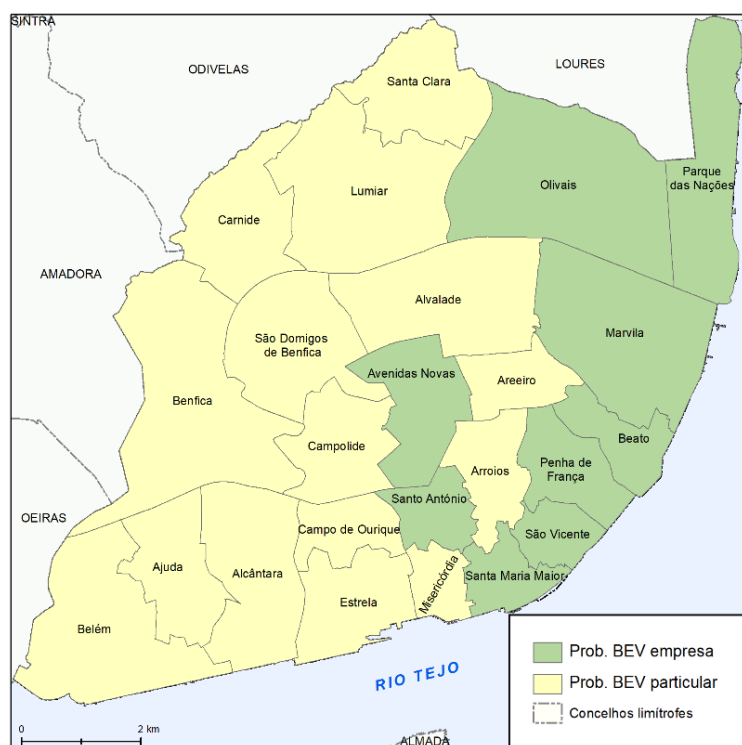


Figura 23 - Divisão da área de estudo entre probabilidade do registo do veículo elétrico pertencer a empresas e probabilidade de pertencer a particulares

Fonte: Londublis.

Em relação aos postos de carregamento, instalados no âmbito da rede Mobi.E, Lisboa tem localizados 133 postos de carregamento normal, totalizando 420 tomadas (média de 3 por posto de carregamento), e 2 postos de carregamento rápido, dispersos pelo respetivo território (Figura 24). Lisboa concentra cerca de 33% dos postos de carregamento normal e 8% dos postos de carregamento rápido do país (412 e 24 postos, respetivamente). Estes valores, juntamente com a informação de registo dos veículos elétricos caracterizam o concelho de Lisboa como o mais interessante do país no que toca aos desenvolvimentos estabelecidos e futuros da mobilidade elétrica.

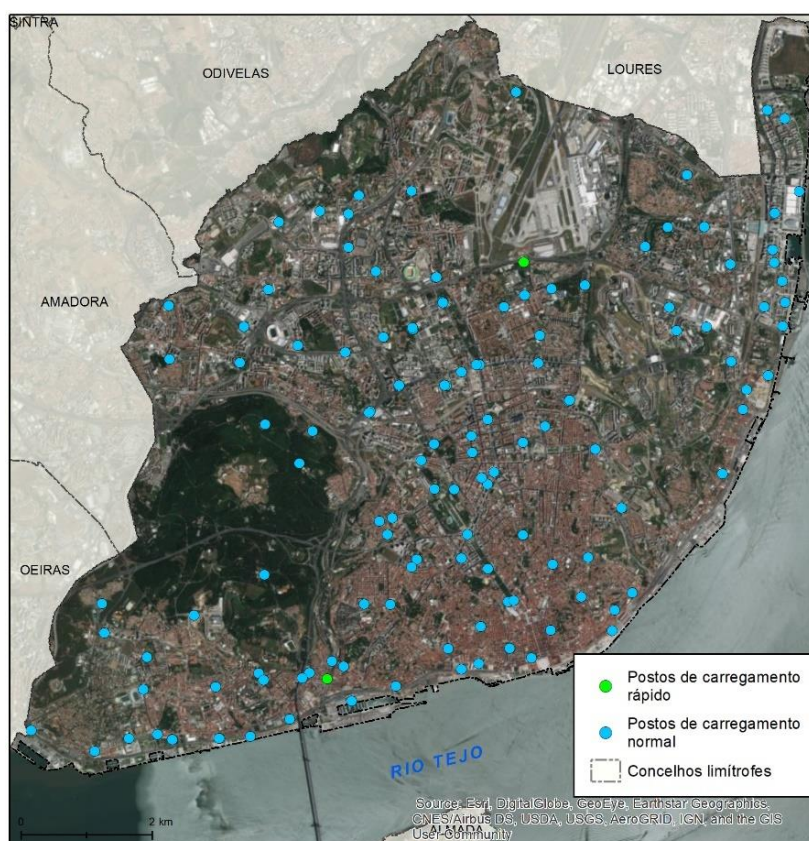


Figura 24 - Distribuição dos postos de carregamento Mobi.E na área de estudo.

Fonte: Mobi.E.

5.2. Construção e estruturação da base de dados

Para a concretização deste trabalho foi criada uma base de dados dividida de acordo com as metodologias para os diferentes tipos de postos de carregamento. Além dessas, foi também criada divisão para os dados relativos à identificação das áreas aptas para colocação dos postos de carregamento públicos por considerar informação variada e fazer parte das três metodologias, apresentando-se assim separadamente. O sistema de coordenadas escolhido foi o *European*

Terrestrial Reference System 1989 e para as variáveis em estrutura matricial foi definida uma resolução de 5 metros.

Presentes no enquadramento da área de estudo, e como mapas base, foram utilizados (Quadro 6) a rede viária hierarquizada, o limite do concelho de Lisboa e os postos de carregamento existentes. Estes dados foram extraídos da base de dados livre da Câmara Municipal de Lisboa (Lisboa Aberta/Geodados) e transformados para o sistema de coordenadas escolhido. O limite do concelho corresponde ao limite da área de estudo e, portanto, serve de extensão para todos os dados e variáveis.

Quadro 6 - Dados utilizados no enquadramento da área de estudo.

Informação	Tipo de Informação	Fonte	Autor	Sistema de coordenadas
Rede viária hierarquizada	Vetorial; Linhas de rede viária	Geodados CML	Departamento de Planeamento	WGS84
Limite do concelho de Lisboa	Vetorial; Polígonos	Geodados CML	Divisão de Cadastro	WGS84
Pontos de carregamento	Vetorial; Pontual	Geodados CML; Mobi.E	Departamento de Marca e Comunicação; Google	WGS84

5.2.1. Áreas aptas para colocação de postos de carregamento

Para a identificação das áreas aptas para colocação de postos de carregamento normal (áreas onde é possível colocar postos pelas características do território), foram consideradas como variáveis iniciais:

- a **rede energética**, uma vez que, principalmente por uma questão de redução de custos, é preferível a proximidade à rede de energia para estabelecimento da conexão entre esta e o posto de carregamento;
- os **parques de estacionamento**, por serem locais já próprios para estacionamento, dado que um VE quando está em carregamento se encontra estacionado;
- a **rede viária**, por questões de acessibilidade e proximidade, sendo também que, não havendo parques de estacionamento, as áreas adjacentes à rede viária em ambientes urbanos são as mais indicadas para a criação de lugares de estacionamento e respetivos postos de carregamento;
- o **edificado**, funcionando como restrição;
- e as **áreas inundáveis**, também como restrição.

Para a definição das áreas aptas para colocação de postos de carregamento rápido são considerados os postos de combustível existentes, por serem locais próprios para abastecimento

de veículos convencionais e haver a possibilidade da existência nas vias de elevado nível, onde o carregamento dos VE em longas viagens é favorecido.

Os dados foram extraídos das suas fontes e transformados para o sistema de coordenadas definido para o caso de estudo, sendo que nalguns casos foram necessárias outras ações. Para a obtenção das áreas dos parques de estacionamento da EMEL, uma vez que a informação original era pontual, efetuou-se a vectorização através de imagens de satélite criando as áreas correspondentes aos parques, ficando assim definida como variável para a delimitação das áreas aptas. No caso do edificado, foi constatado que havia edifícios subterrâneos e tratando-se de um dado que entra como restrição, foi efetuada a eliminação desses edifícios, que eram na sua maioria estações do metropolitano. Por sua vez, a rede viária, para implementação desta metodologia, teve de ser filtrada. Isto é, foram eliminadas as vias onde os automóveis não podiam circular, as vias rápidas e grandes vias, interseções, vias de acesso, rotundas (onde é impossível estacionar na sua adjacência), assim como também foram eliminadas as vias onde os peões não podiam circular. Estes processos em relação à rede viária foram efetuados através seleções por atributo e, de seguida, foram geradas as áreas de proximidade inferior a 10 m. Quanto à rede energética foram geradas as áreas a menos de 50m, dado que, segundo bibliografia, é a distância favorável para que os custos de conexão entre a rede e o posto sejam reduzidos. As fontes e outras características destas variáveis iniciais podem ser observadas no Quadro 7.

Quadro 7 - Dados utilizados na metodologia para identificação das áreas aptas para colocação de postos de carregamento

Variável	Informação	Tipo de Informação	Fonte	Autor	Sistema de coordenadas
Prox. à rede energética	Rede energética	Vetorial; Linhas	Geodados CML	EDP Distribuição	ETRS 1989
Parques de estacionamento (áreas)	Parques de estacionamento	Vetorial; Pontual	Geodados CML	EMEL	Dt73 Hayford- Gauss IPCC
Edificado	Edificado	Vetorial; Polígonos	CML	CML	ETRS 1989
Áreas inundáveis	Áreas inundáveis	Vetorial; Polígonos	CML	Departamento de Planeamento e Reabilitação Urbana	ETRS 1989
Prox. à rede viária	Rede viária	Vetorial: Linhas			ETRS 1989
Postos de combustível	Postos de combustível	Vetorial; Pontual	Maisgasolina	Maisgasolina	WGS84

5.2.2. Postos de carregamento normal públicos nas áreas de residência

A metodologia estabelecida para a criação da rede ótima de postos de carregamento nas áreas residenciais, assenta, como foi explicado, num modelo de análise de redes com abordagem da cobertura de máxima capacidade. Esse modelo tem essencialmente duas variáveis de entrada, um ficheiro de pontos que representa os potenciais utilizadores (*demand*) e um ficheiro de pontos que representa os postos de carregamento (*facilities*). Tendo ainda uma variável de suporte à modelação, que é a rede viária. No caso dos potenciais utilizadores, para obter as áreas onde estão presentes e respetiva quantificação, de acordo com a definição do *early adopter* e *early majoraty* segundo a bibliografia, foram considerados como informação (Quadro 8):

- o **Valor Patrimonial Tributário (VPT)**, que dá um valor proxy dos rendimentos da população, na falta de informação estatística mais relevante;
- os **indivíduos residentes com idade entre 35 e 60 anos**;
- os **indivíduos residentes com um curso superior completo**;
- os **indivíduos residentes empregados**;
- as **famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas**;
- e os **alojamentos familiares clássicos de residência habitual sem estacionamento**.

A maior parte destas variáveis iniciais (para definição dos potenciais utilizadores) foram retiradas do INE, censos de 2011, em formato tabular, procedendo-se à junção com a respetiva base cartográfica. De seguida, os dados foram extraídos diretamente para estrutura matricial, com resolução de 5m, a adotada para o caso de estudo, à exceção do número de alojamentos familiares clássicos sem estacionamento que foi obtido através da divisão entre os alojamentos familiares clássicos de residência habitual com estacionamento com o número total de alojamentos familiares clássicos. As variáveis Indivíduos residentes com idade entre 35 e 60 anos, por não haver este intervalo de idades ao nível da subsecção estatística, e o coeficiente de VPT foram obtidos de outra forma. Para obtenção dos indivíduos residentes com idade entre 35 e 60 anos foi utilizada informação a nível da freguesia por forma a realizar uma estimativa ao nível da subsecção, em que foi considerado que a proporção de indivíduos com idade entre 35 e 60 anos na globalidade de indivíduos com idade entre 25 e 64 anos ao nível da freguesia era o mesmo para o nível da subsecção estatística. Para obter a variável VPT, a partir do Sistema de Informação Geográfica do Imposto Municipal Sobre Imóveis, no Portal das Finanças, foram retiradas imagens que posteriormente foram georreferenciadas, tendo depois sido efetuada a vectorização das áreas com o respetivo coeficiente de VPT.

Como postos de carregamento (*facilities*), na verdade, entram duas variáveis: os postos de carregamento existentes e postos de carregamento fictícios, que entrarão no modelo como candidatos. Para a criação da rede de postos de carregamento fictícios, foram consideradas as

áreas aptas para a colocação de postos de carregamento e os potenciais utilizadores. A rede viária, peça essencial no modelo, trata-se da rede considerada na delimitação das áreas aptas, embora não tenham sido eliminadas as referidas seleções.

Quadro 8 - Dados utilizados na metodologia para a distribuição ótima de postos de carregamento normal nas áreas residenciais.

Variável	Informação	Tipo de Informação	Fonte	Autor	Sistema de coordenadas
Potenciais residentes utilizadores de veículos eléctricos	Valor Patrimonial Tributário	Vetorial; Polígonos	SIGIMI	-	ETRS 1989
	Indivíduos residentes com idade entre 35 e 60 anos	Estatística - Vetorial; Polígonos	Censos 2011; INE	INE	ETRS 1989
	Indivíduos residentes com um curso superior completo	Estatística - Vetorial; Polígonos	Censos 2011; INE	INE	ETRS 1989
	Indivíduos residentes empregados	Estatística - Vetorial; Polígonos	Censos 2011; INE	INE	ETRS 1989
	Famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas	Estatística - Vetorial; Polígonos	Censos 2011; INE	INE	ETRS 1989
	Alojamentos familiares clássicos de residência habitual sem estacionamento	Estatística - Vetorial; Polígonos	Censos 2011; INE	INE	ETRS 1989
Rede (malha) de postos de carregamento fictícios	Áreas aptas para a colocação de postos de carregamento; Áreas com potenciais utilizadores	Vetorial; Polígonos	-	-	ETRS 1989
Rede de postos de carregamento existentes	Rede de postos de carregamento existentes	Vetorial; Pontual	Geodados CML; Mobi.E	Departamento de Marca e Comunicação	WGS84
Rede viária	Rede viária	Vetorial; Linhas	ESRI	ESRI; TOM TOM	ETRS 1989

5.2.3.Postos de carregamento normal públicos nas áreas de trabalho

Para a criação da rede ótima de postos de carregamento normal públicos nos locais de trabalho recorreu-se à metodologia utilizada na criação da rede de postos de carregamento nas áreas residenciais, pelo que as variáveis de entrada são as mesmas, mas adaptadas (Quadro 9). Assim, como pontos de procura (*demand*) foram considerados os empregados potenciais utilizadores de veículos elétricos, para qual foi utilizada a informação do número de empregados por subsecção estatística, para o concelho de Lisboa, com exceção da área norte da freguesia do Parque das Nações, para a qual não foi possível obter os dados. Relativamente aos postos de carregamento (*facilities*), foram considerados os postos de carregamento existentes (a mesma variável referida nos postos residenciais) e para a criação da rede de postos de carregamento fictícios (candidatos) foram consideradas as áreas aptas e o número de empregados potencialmente utilizadores de VE.

Quadro 9 – Dados utilizados na metodologia para a distribuição ótima de postos de carregamento normal nas áreas de trabalho.

Variável	Informação	Tipo de Informação	Fonte	Autor	Sistema de coordenadas
Empregados potenciais utilizadores de veículos elétricos	Indivíduos empregados	Vetorial; Polígonos	Ministério do Trabalho	Ministério do Trabalho	WGS 84
Rede de postos de carregamento fictícios	Áreas aptas para a colocação de postos de carregamento; Áreas com potenciais utilizadores	Vetorial; Polígonos	-	-	ETRS 1989
Rede de postos de carregamento existentes	Rede de postos de carregamento existentes	Vetorial; Pontual	Geodados CML; Mobi.E	Departamento de Marca e Comunicação	WGS84
Rede viária	Rede viária	Vetorial; Linhas	ESRI	ESRI; TOM TOM	ETRS 1989

5.2.4.Postos de carregamento rápido públicos

Para os postos de carregamento rápido foram consideradas as seguintes variáveis (Quadro 10): a rede viária de elevada hierarquia, incluindo a que faz atravessamento do concelho, e a rede viária que normalmente apresenta um elevado volume de tráfego, de forma a aproximar os postos de carregamento aos indivíduos que estão em viagem e colmatar a procura nas estradas mais

frequentadas; a concentração de potenciais UVE, para servir situações de emergência e os locais de partida; e os postos de combustível existentes na área de estudo, sendo os locais onde serão instalados os postos de carregamento, conforme revisto na bibliografia. Foram considerados também os postos de carregamento rápido para não serem aí colocados novos postos. A proximidade às subestações, um critério relevante no que toca ao carregamento rápido, não foi considerado, uma vez que toda a área de estudo se encontrava coberta.

Para obtenção da rede viária principal/com elevado volume tráfego, foi considerada a rede viária hierarquizada, retirada da plataforma de dados livres da CML, e informação sobre o tráfego de acordo com o TOMTOM Traffic Index³⁷. Esta última informação foi adicionada à rede viária por seleção das vias que apresentaram elevado volume de tráfego no ano de 2016. Quanto à concentração de potenciais utilizadores de veículos elétricos foram consideradas a distribuição de residentes potenciais UVE e a distribuição de empregados potenciais UVE, dois dados que resultaram das metodologias anteriormente referidas (postos de carregamento normal públicos nas áreas residenciais e nas áreas de trabalho). Os postos de combustível, por sua vez, têm como fonte Maisgasolina³⁸ e os postos de carregamento rápido existentes têm como fonte a Mobi.E³⁹ e a CML.

Quadro 10 - Dados utilizados na metodologia para a distribuição ótima de postos de carregamento rápido

Variável	Informação	Tipo de Informação	Fonte	Autor	Sistema de coordenadas
Rede viária principal/com elevado volume de tráfego	Tráfego	Vetorial; Linhas de rede viária	TOMTOM Traffic Index	TOMTOM	WGS84
	Rede viária hierarquizada	Vetorial; Linhas de rede viária	Geodados CML	Departamento de Planeamento	WGS84
Concentração de potenciais utilizadores de veículos elétricos	Distribuição de residentes potenciais utilizadores	Vetorial; pontual	-	-	ETRS89
	Distribuição de empregados potenciais utilizadores	Vetorial; pontual	-	-	ETRS89
Postos de combustível	Postos de combustível	Vetorial; pontual	Maisgasolina	Maisgasolina	WGS84
Postos de carregamento rápido existentes	Postos de carregamento rápido existentes	Vetorial; pontual	Geodados CML; Mobi.E	Departamento de Marca e Comunicação; Google	WGS84

³⁷ https://www.tomtom.com/en_gb/trafficindex/city/LIS, acedido a 10 de julho de 2018.

³⁸ <https://www.maisgasolina.com/exportar-gps-telemovel/>, acedido a 25 de junho de 2018.

³⁹ <https://www.mobie.pt/map>, acedido a 11 de julho de 2018.

5.3. Aplicação das metodologias

5.3.1. Áreas aptas para colocação de postos de carregamento

A criação das áreas aptas para colocação de postos de carregamento normal envolveu vários processos espaciais relacionados com proximidade e sobreposição. Numa primeira fase foram identificadas as áreas entre o edificado e a rede viária, efetuando a interseção das áreas próximas à rede viária e das áreas próximas ao edificado, excluindo depois a área ocupada por asfalto (áreas de 5m de proximidade às linhas de rede viária) e a área compreendida pelo edificado. Ao resultado, foram adicionadas as áreas correspondentes a parques de estacionamento e de seguida excluídas as áreas que se situavam a mais de 50m da rede de eletricidade, por motivos já explicados, bem como as áreas classificadas como inundáveis de perigosidade elevada e muito elevada.

O resultado final é mostrado na Figura 25, para toda a área de estudo, e na Figura 26, numa área aproximada para melhor compreensão do tipo de áreas escolhidas. No total, foram identificadas cerca de 3900 áreas, numa área de total de 3,4 km² (3,4% da área de estudo). Nota-se a área central com uma maior concentração, contrariamente à área do parque de Monsanto com pouca presença, assim como a área do aeroporto Humberto Delgado, que naturalmente não tem áreas aptas. Estas áreas são geradas a uma pequena escala, principalmente devido aos dados utilizados para tal, pelo que o nível de detalhe não é elevado como a localização dos postos de carregamento requerem na realidade. Ainda assim, dado que se está a trabalhar ao nível do concelho de Lisboa, as áreas terão um nível de detalhe suficiente.

É a partir destas áreas que são gerados os postos fictícios a escolher no modelo de rede no cálculo da distribuição ótima de postos de carregamento normais públicos, tanto nas áreas de residência como nas áreas de trabalho.



Figura 25 - Áreas aptas para colocação de postos de carregamento normal na área de estudo

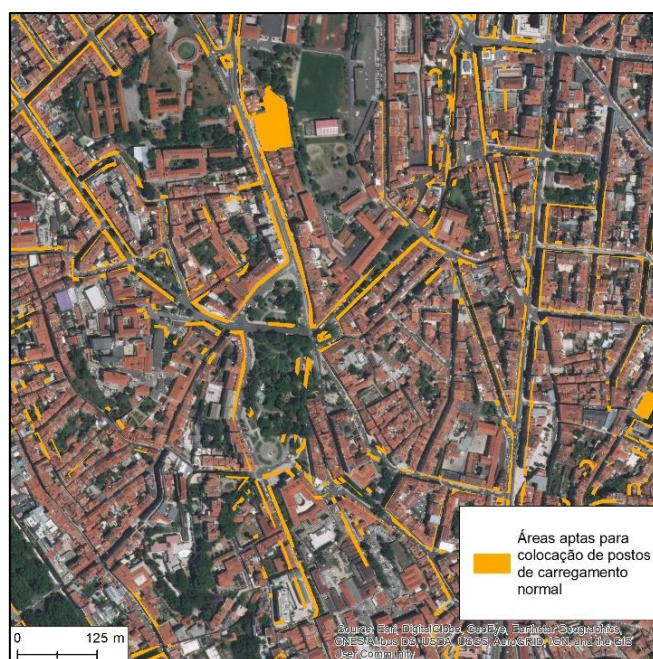


Figura 26 - Áreas aptas para colocação de postos de carregamento normal. Exemplo aproximado na área de estudo.

5.3.2. Postos de carregamento normal públicos nas áreas de residência

O processo de estruturação da rede ótima de postos de carregamento nas áreas de residência passa primeiro pela identificação e quantificação dos potenciais utilizadores de veículos elétricos.

Para tal, obtidos os critérios, é necessário torná-los combináveis, pelo que se procedeu à sua normalização através do escalonamento dos seus valores. Esse processo foi realizado através de equações lineares para uma escala de 0 a 100, podendo os gráficos, e respetivas equações, serem vistos na Figura 27.

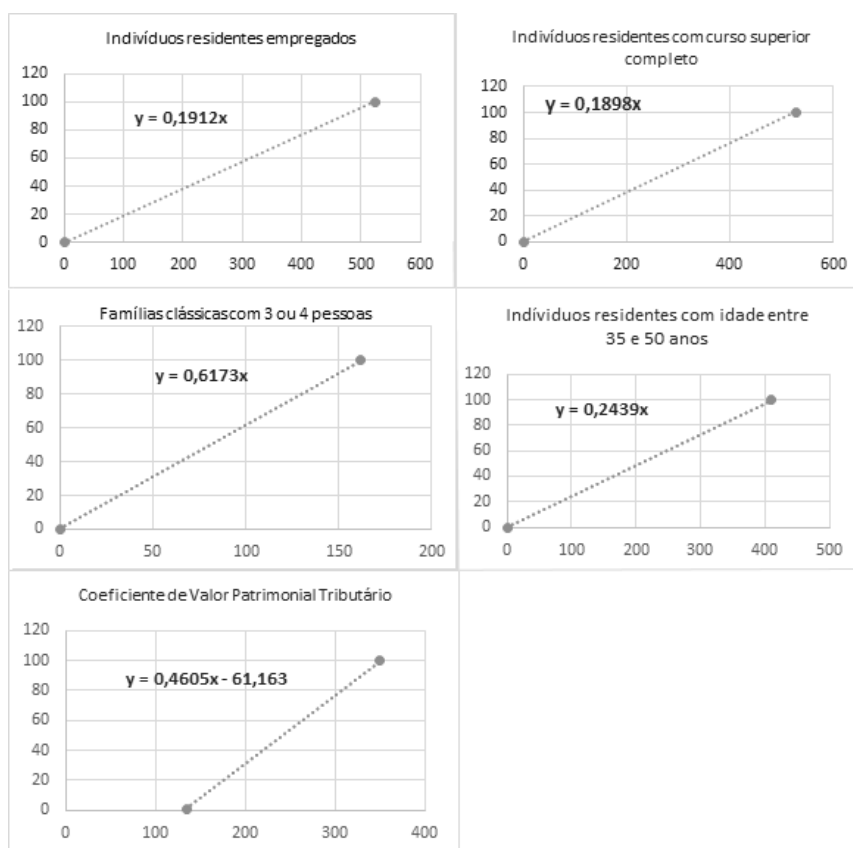


Figura 27 - Gráficos com respetiva equação de escalonamento das variáveis para identificação dos potenciais utilizadores.

Para obter a ponderação de cada critério, isto é, o peso que cada um terá na variável final, recorreu-se ao Processo Analítico Hierárquico. Primeiramente, os critérios foram hierarquizados da seguinte forma, do mais importante para o menos importante: Indivíduos residentes com curso superior completo; Indivíduos residentes empregados; Valor Patrimonial Tributário; Indivíduos residentes com idades entre 35 e 60 anos; e Famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas. Esta hierarquização tem como base as estatísticas sobre o perfil de utilizador referidas no enquadramento teórico, sendo que as características com mais frequência são as mais importantes. Por exemplo, a frequência de indivíduos com curso superior é geralmente acima de 70%, ao contrário da frequência de indivíduos que pertencem a um agregado familiar com 3 ou 4 pessoas, que é cerca de 30%, mesmo sendo a maioria. O género não foi considerado como critério para definição dos potenciais utilizadores porque, com a evolução do mercado, a diferença de utilização entre géneros dissipa-se rapidamente.

Após a hierarquização dos critérios construiu-se, com base na tabela de Saaty (2008) (Tabela 1, em anexo, página 146), uma matriz de comparação par-a-par, observável no Quadro 11, para a qual se consideraram os mesmos princípios assumidos na fase de hierarquização. Posteriormente, efetuou-se a normalização dos valores (Quadro 12), em que se obtiveram os pesos dos critérios. Para validação, foi calculada a razão de consistência (CR) dos pesos gerados, tendo sido obtido o valor 0,013, que se considera um valor de inconsistência aceitável, sendo menor que 0,1, valor a partir do qual seria necessário rever as ponderações (Alonso & Lamata, 2006).

Quadro 11 - Matriz de comparação par-a-par, definição dos potenciais utilizadores

	Residentes c/ curso superior	Residentes empregados	VPT	Residentes com idades entre 35 e 60	Famílias com 3 ou 4 pessoas
Residentes c/ curso superior	1	1,00	2,00	3,00	5,00
Residentes empregados	1,00	1	2,00	3,00	5,00
VPT	0,50	0,50	1	2,00	4,00
Residentes com idades entre 35 e 60	0,33	0,33	0,50	1	3,00
Famílias com 3 ou 4 pessoas	0,20	0,20	0,25	0,33	1
Soma	3,03	3,03	5,75	9,33	18,00

Quadro 12 - Normalização dos valores, pesos dos critérios para definição dos potenciais utilizadores

	Residentes c/ curso superior	Residentes empregados	VPT	Residentes com idades entre 35 e 60	Famílias com 3 ou 4 pessoas	Peso (vetor λ_{max})
Residentes c/ curso superior	0,33	0,33	0,35	0,32	0,28	0,321
Residentes empregados	0,33	0,33	0,35	0,32	0,28	0,321
VPT	0,16	0,16	0,17	0,21	0,22	0,188
Residentes com idades entre 35 e 60	0,11	0,11	0,09	0,11	0,17	0,116
Famílias com 3 ou 4 pessoas	0,07	0,07	0,04	0,04	0,06	0,053
Totais	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00

Os potenciais utilizadores de veículos elétricos obtêm-se a partir da seguinte equação, considerando os pesos gerados:

$$Pot_{UVE} = (Rcs * 0,321) + (Re * 0,321) + (VPT * 0,188) + (Ri * 0,116) + (Fc * 0,053), \text{ em que:}$$

Rcs – Indivíduos residentes com curso superior completo

Re – Indivíduos residentes empregados

VPT – Valor Patrimonial Tributário

Ri – Indivíduos residentes com idades entre 35 e 60 anos

Fc – Famílias clássicas com 3 ou 4 pessoas

Como resultado, foi gerada a distribuição do potencial de utilização de veículos elétricos, no entanto, nem todas as áreas apresentam potencial de utilização de postos públicos, dado que poderá haver oportunidade de efetuar o carregamento em espaço privado. Para filtragem, ao resultado multiplicou-se a proporção de edifícios sem estacionamento (proporção relativamente ao total de edifícios das subsecções estatísticas). Dessa forma, obtém-se as áreas com potencial utilização de VE e de postos públicos (Figura 28), dado que, como referido no enquadramento teórico, a maior parte dos UVE que têm possibilidade de realizar o carregamento em casa fá-lo-á em detrimento do carregamento público.

O resultado anterior é entendido como sendo a probabilidade em percentagem, pelo que o mesmo foi multiplicado pelo número de indivíduos residentes, tendo sido obtido a população potencialmente utilizadora, ou seja, aqueles que demonstrarão vontade de adquirir um VE. No entanto, nem todos os indivíduos adquirirão um VE, principalmente devido às condições de mercado, pelo que foi efetuada a seleção de 16% do número de indivíduos resultante, correspondendo à percentagem de mercado classificada como *early adopters* (conforme referido no enquadramento teórico). Deste modo obtém-se um resultado refinado, onde se observa o número de Potenciais UVE residentes por subsecção estatística (Figura 29).

No total, foram identificados 18531 potenciais utilizadores (3% da população residente; 4% da população com idade para conduzir), distribuídos na área de estudo conforme demonstra a Figura 29. Notam-se que várias subsecções estatísticas, dispersamente no concelho, não apresentam UVE potenciais, representando 31% do número total dessas áreas (3663). As mesmas áreas concentram apenas 4% da população residente total.

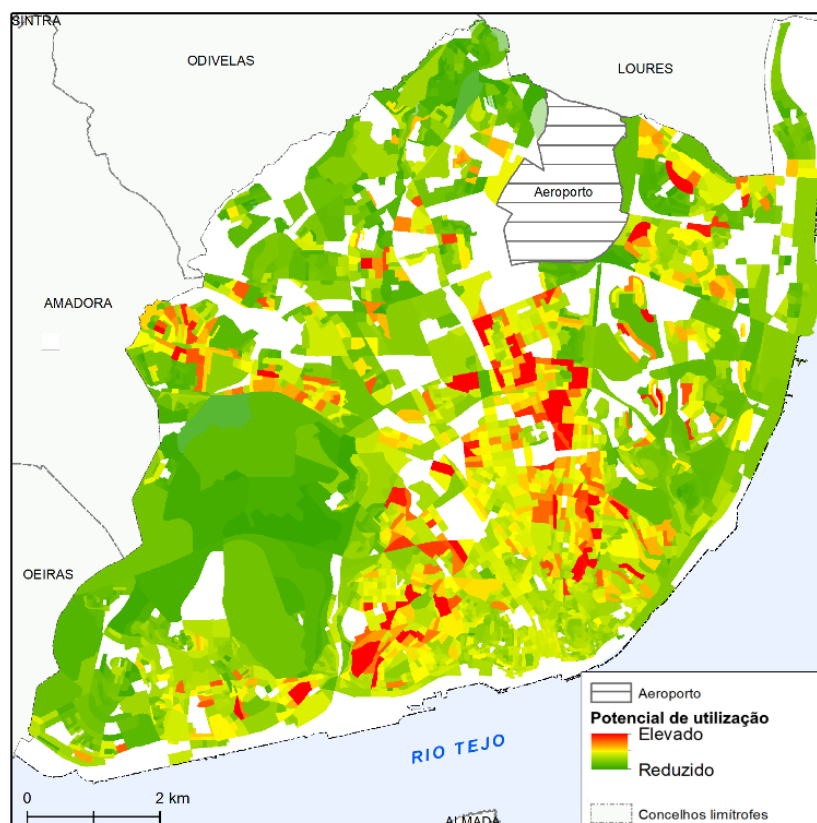


Figura 28 - Distribuição do potencial de utilização de postos de carregamento públicos na área de estudo.

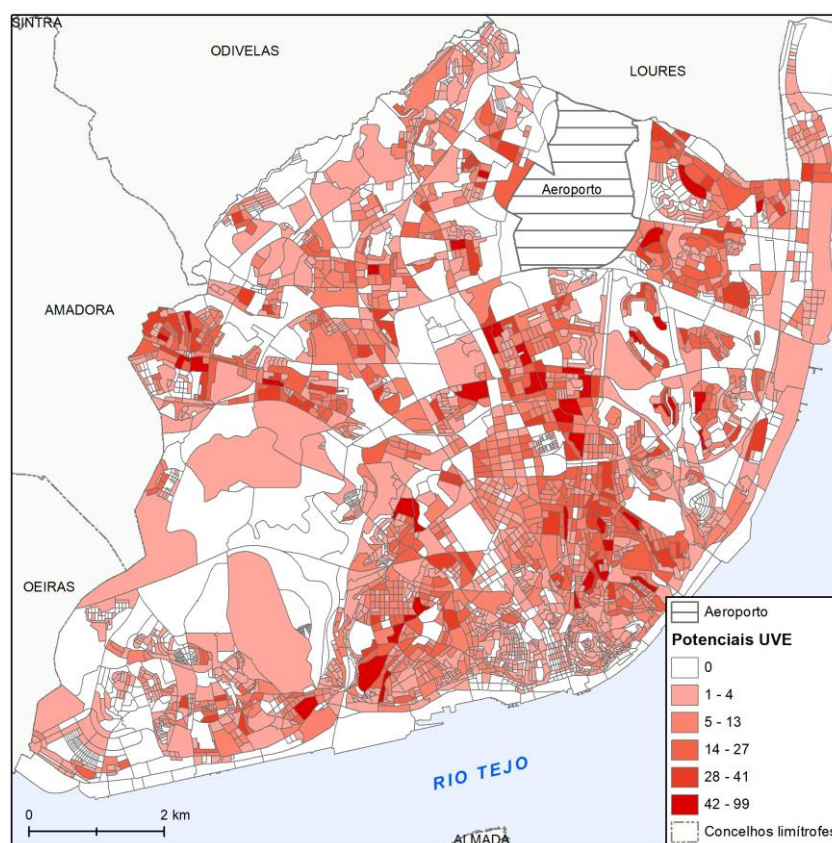


Figura 29 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes por subsecção estatística na área de estudo.

A distribuição do número de potenciais UVE não é de fácil compreensão ao nível da subsecção estatística, pelo que se efetuou a agregação ao nível da freguesia, resultando no mapa da Figura 30. Nesse mapa é claro que as freguesias de Arroios, Alvalade, Marvila e Benfica concentram os maiores números de potenciais UVE (cerca de 1400 a 1300, respetivamente), ainda que representem 30% do número total de potenciais utilizadores. Juntando as freguesias de Penha de França, Olivais, Lumiar e São Domingos de Benfica, que concentram mais de 1000 potenciais utilizadores cada uma, a percentagem sobe para 54%.

Foi calculada também a percentagem de potenciais utilizadores relativamente à população residente a nível de freguesia, podendo o mapa ser observado na Figura 31. Este mapa permite outra interpretação acerca da distribuição de potenciais utilizadores. Ainda que os valores não variem muito entre si, verifica-se uma maior percentagem nas freguesias de Alvalade, Estrela, Arroios, Penha de França, Avenidas Novas e Areeiro, diferenciando-se ligeiramente da distribuição do número de potenciais utilizadores. Quanto aos valores reduzidos, esses concentram-se nas freguesias de Carnide, Santa Clara, Belém, Misericórdia, Santa Maria Maior e Beato, coincidido com aquelas que têm o menor número de potenciais utilizadores.

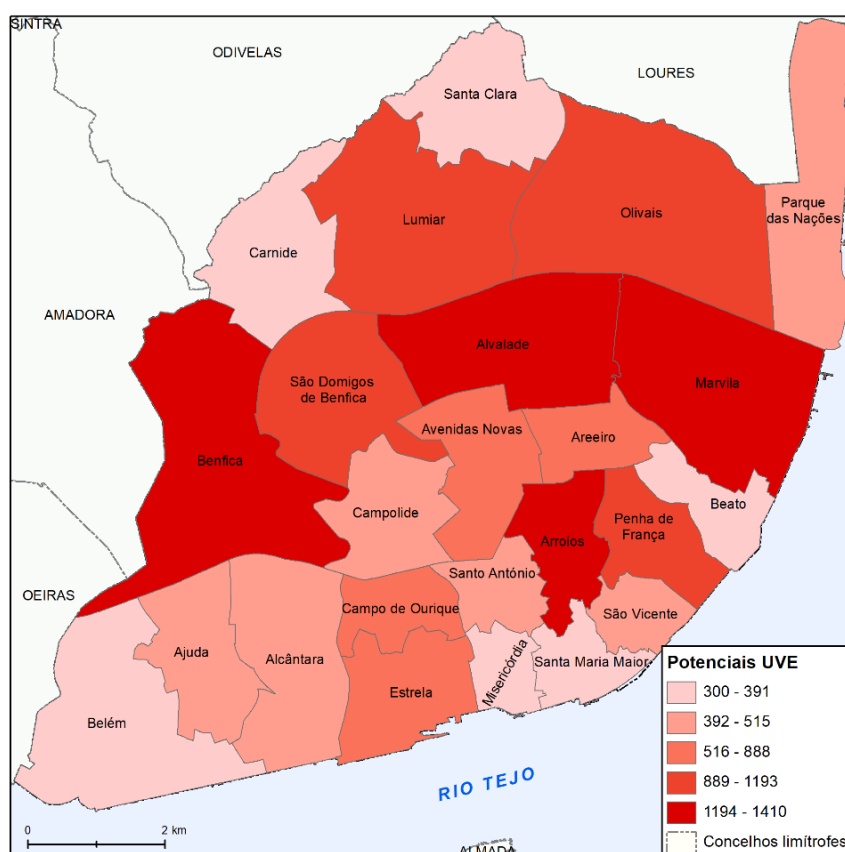


Figura 30 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes por freguesia na área de estudo.

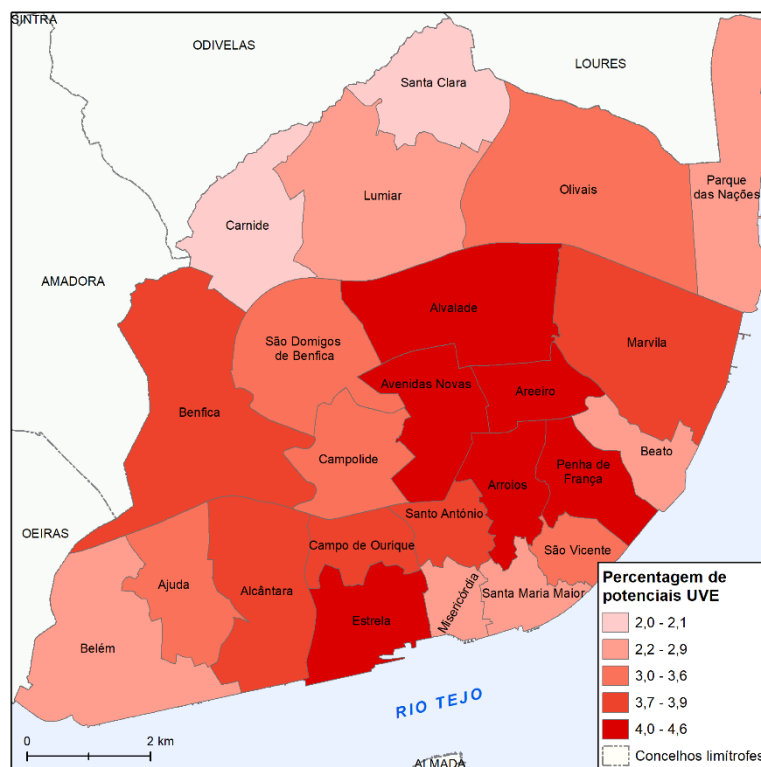


Figura 31 - Percentagem de potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes em relação à população residente por freguesia na área de estudo.

Para que a variável pudesse dar entrada no modelo foi necessário transformá-la em pontos, de forma a que um ponto significasse um potencial utilizador. Para que fosse obtido uma distribuição mais correta dos pontos (aproximada à realidade), considerou-se a distribuição do edificado para cada subsecção, tendo sido colocados pontos no centroide. Houve casos de áreas em que o centroide não correspondia à localização dos edifícios, sendo nesse caso, movido manualmente (Figura 32).

Em relação aos postos de carregamento candidatos (fictícios), para a sua geração de acordo com o número de potenciais utilizadores, identificados no passo anterior, foi efetuada a agregação das áreas aptas pela subsecção estatística, sendo, ao mesmo tempo, associado o valor correspondente aos potenciais utilizadores. De seguida, foram gerados pontos aleatórios dentro das áreas aptas proporcionalmente ao número de potenciais utilizadores, mantendo uma distância de 5 m entre os mesmos, considerando que cada posto terá 2 tomadas. Assim, as áreas aptas em determinada área de subsecção estatística são consideradas como uma só área, onde é gerado um número de postos candidatos proporcionalmente ao número de potenciais UVE aí identificados (Figura 33). No total, foram gerados cerca de 18 mil pontos, numa distribuição que espelha a distribuição dos potenciais utilizadores, interpretada anteriormente.

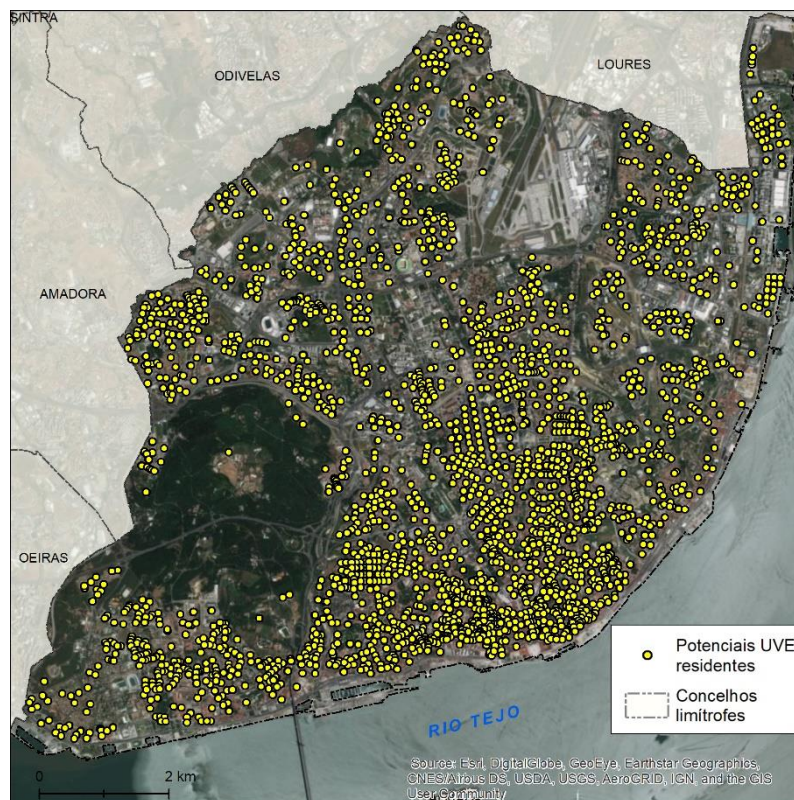


Figura 32 - Distribuição dos residentes potencialmente utilizadores de veículos elétricos na área de estudo.

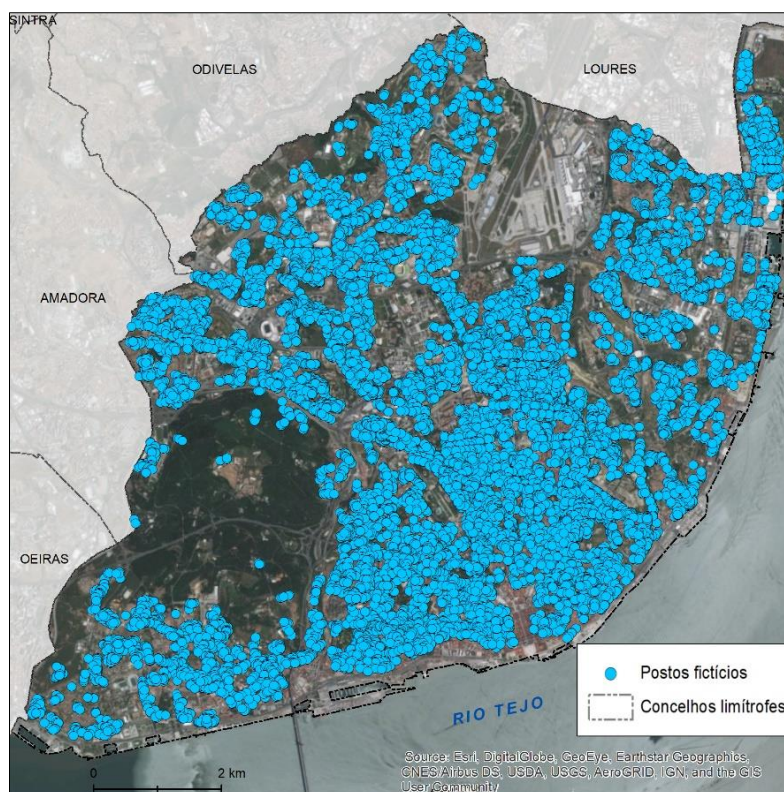


Figura 33 – Distribuição dos postos fictícios de entrada no modelo para as áreas de residência, na área de estudo.

Estando definidas as duas variáveis de entrada do modelo, procedeu-se à construção da rede (*Network dataset*), na qual o modelo se vai basear. A *Network dataset*, com base na rede TOMTOM, foi construída com a conectividade como *endpoint*, tendo sido utilizado também um campo com informação da elevação da via. Enquanto atributos foram definidos os seguintes:

- Via única (*Oneway*), como restrição, dando para escolher mais tarde se pretende ativar ou desativar a restrição.
- Hierarquia da rede, como descritor.
- Distância (*Meters*), em metros, como custo.
- Distância tempo a pé (*Foottime*), como custo, obtido através da seguinte equação:
$$(Distância * 60) / (KPH * 1000)$$
- Distância tempo de carro (*Drivetime*), como custo, obtido através da seguinte equação: $Distância * 60 / 3000$.

De seguida, através dos atributos criados, foram definidos dois modos de deslocação, a pé e de automóvel, ficando assim a *Network dataset* criada.

No modelo assume-se que, conforme bibliografia já referida, neste caso de carregamento nas áreas residenciais cada tomada será utilizada por um utilizador por dia. Uma vez que o carregamento tende a ser efetuado à noite e que mesmo que o carregamento seja pouco duradouro, os veículos permanecem durante mais tempo ligados com a tomada.

Para simular a evolução da mobilidade elétrica, além de um modelo principal, foram idealizados três modelos, de acordo com vários princípios, visíveis no Quadro 13. Para todos os 4 modelos foi assumido que a média de quilómetros diários percorridos em Lisboa é de 9,7km. Este valor foi obtido através de uma estimativa de acordo com o inquérito à mobilidade realizado pelo INE (2017) na AML e AMP (Área Metropolitana do Porto), dado que não estava disponível a distância como condutor para a área de estudo, onde consta que a distância média percorrida na AML foi de 10,3 km e em Lisboa de 7,9 km. Em Automóvel na AML, a média como condutor de automóvel foi de 12,7 km. Assim, como a relação entre a AML e Lisboa foi de 10,3 km para 7,9 km (diminuição de cerca de 23%), admite-se que a média de automóvel em Lisboa terá sido 9,7 km. Da mesma forma, em todos os modelos foi assumido que os postos de carregamento teriam duas tomadas cada.

Os restantes parâmetros variam de acordo com o modelo:

- Modelo 1 – Simula o comportamento dos utilizadores atuais, com base na bibliografia. Para este modelo é assumido que o utilizador percorre em média 36 km entre carregamentos. Assim, considerando a média de quilómetros percorridos em Lisboa, assume-se que cada utilizador carregue o seu VE de 4 em 4 dias. Isso

fará com que cada posto seja associado a 8 UVE (multiplicando o número de tomadas com o número de dias entre carregamentos). Neste modelo assumiu-se que no mínimo a bateria dos veículos teriam autonomia total para 160 km;

- **Modelo 2** – Este segundo modelo pretende simular uma evolução das baterias, sendo que neste caso, a capacidade total da bateria mínima seria 400 km, mas mantendo o padrão de carregamento do modelo anterior, ainda que adaptado. Foi então considerada a proporção de evolução da bateria para simular o aumento do número de quilómetros entre carregamentos. O valor resultante foi de aproximadamente 90 km, assumindo que os UVE efetuam o carregamento de 9 em 9 dias, significando, por isso, que a cada posto de carregamento seria associado 18 UVE;
- **Modelo 3** – Pretende simular a atualidade, mas com uma perspetiva de redução de custos pelo aproveitamento da capacidade da bateria. Este considera uma capacidade mínima total da bateria igual ao do primeiro modelo (160 km), no entanto, assume que os veículos se conectam ao posto de carregamento com apenas 20% da bateria, contrariamente aos mais de 50% dos primeiros modelos que vão ao encontro dos resultados dos vários estudos indicados no enquadramento teórico. É assumido, assim, que um UVE faria cerca de 128 km entre carregamentos, significando que o número de dias entre carregamentos seria 13 e que a cada posto de carregamento seriam associados 26 UVE;
- **Modelo 4** – Este quarto modelo é uma junção entre o segundo e o terceiro, pretendendo simular a evolução das baterias com um comportamento de aproveitamento da capacidade das mesmas, priorizando também a redução dos custos associados ao número de postos de carregamento. Foi assumido que cada UVE faria 320 km entre carregamentos, significando cerca de 33 dias entre os mesmos. Assim, a cada posto seriam associados 66 UVE.

Quadro 13 - Modelos realizados no contexto de carregamento nas áreas de residência e respetivos princípios.

Parâmetros	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Média de km diários percorridos em Lisboa	9,7	9,7	9,7	9,7
Capacidade da bateria mais pequena do mercado (BEV utilitário)	160	400	160	400
Média de km percorridos entre carregamentos	36	90	128	320
Nº de dias entre carregamentos	4	9	13	33
Nº de tomadas dos postos candidatos	2	2	2	2
Nº de UVE associados a cada posto (capacidade)	8	18	26	66

Procedendo para a modelação, por motivos de limite de memória de processamento, o modelo teve de ser executado em Python, tendo sido criado um *script* com esse objetivo onde foram consumidas as várias funções que compõem a ferramenta existente no software da Esri. O

script está organizado conforme mostra o esquema conceptual na Figura 34. Em termos básicos (um modelo conceptual detalhado realizado no *Modelbuilder* pode ser observado na Figura 64, em anexo), o *script*, de acordo com as funções utilizadas, cria um primeiro layer que corresponde ao modelo *New Location-allocation*, em que são definidos os parâmetros de modelação, nomeadamente o tipo de problema, a impedância, o limite de tempo/distância entre os potenciais UVE e a capacidade dos postos de carregamento (que se altera conforme os modelos) que não têm informação da capacidade associada (como o caso dos postos existentes). De seguida, vai recreando esse layer à medida que adiciona localizações e define as suas características (variáveis de entrada), passando depois à resolução do modelo. Por fim, é realizado o armazenamento do resultado final, que se trata de um grupo de ficheiros. Os resultados serão analisados no subcapítulo seguinte.

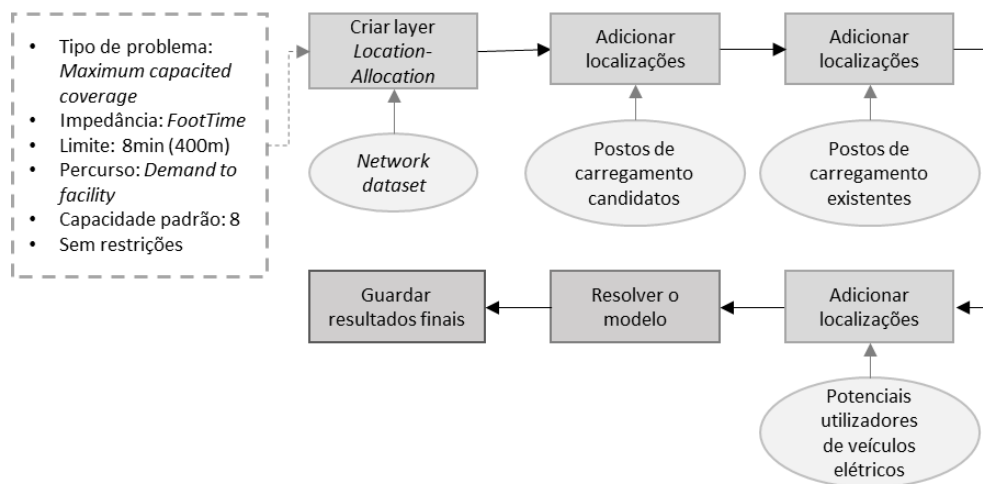


Figura 34 - Esquema conceptual do *script* do modelo principal, modelo *New Location-allocation*.

5.3.3. Postos de carregamento normal públicos nas áreas de trabalho

Dado que a metodologia para a criação da rede ótima de postos de carregamento normal públicos nas áreas de trabalho é a mesma que foi utilizada para a criação da rede ótima de postos nas áreas residenciais, será apresentado o que difere entre ambos, nomeadamente relacionado com as variáveis de entrada e com os parâmetros de modelação. Neste caso, apenas foi realizado um modelo, simulando a situação atual (comportamento de carregamento/condução por parte do utilizador e a tecnologia).

Novamente, primeiro, foram identificados os indivíduos empregados potencialmente utilizadores de VE. Dado que não foi possível fazer uma caracterização dos indivíduos empregados, por falta dessa informação, foi realizada uma estimativa, ao nível da freguesia, pelo valor correspondente à proporção de indivíduos residentes potencialmente utilizadores (identificado anteriormente). Mais concretamente, a distribuição dessa proporção por freguesia

(Figura 31) foi associada às subsecções estatísticas, procedendo-se à multiplicação pelo número de empregados associado a cada uma. Desta forma obteve-se o número dos empregados potencialmente utilizadores de VE. Posteriormente procedeu-se à transformação da variável de entrada no modelo, correspondendo à criação dos pontos que representam os empregados potenciais utilizadores, à semelhança do que foi realizado para os indivíduos residentes potenciais utilizadores (Figura 35).

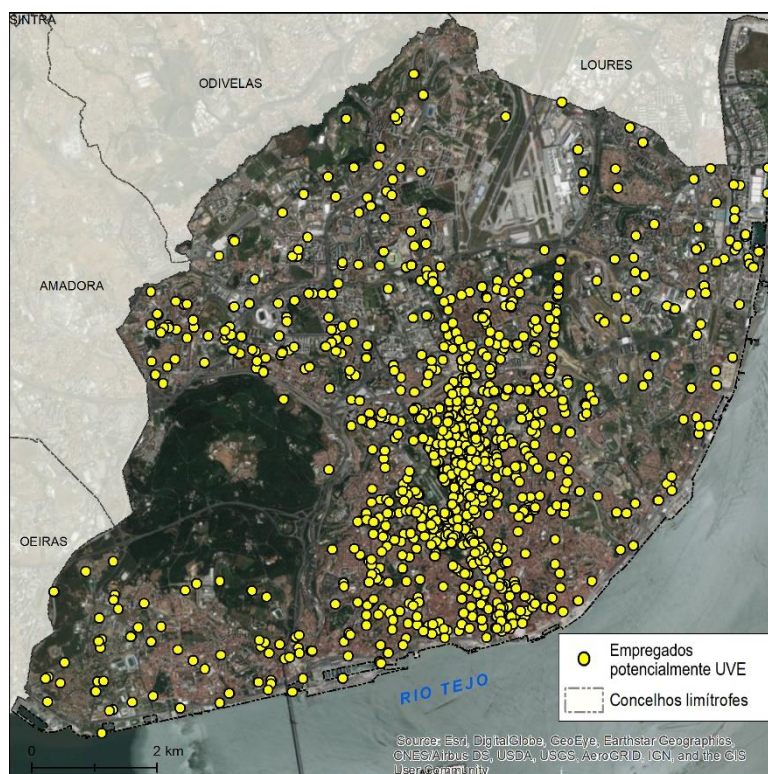


Figura 35 - Distribuição dos empregados potencialmente utilizadores de veículos elétricos na área de estudo.

No total, foram identificados 9326 empregados com potencial de serem UVE (3,3% do número total de empregados na área de estudo), distribuídos na área de estudo conforme demonstra a Figura 36. Observa-se que a maioria das subsecções estatísticas não apresentam indivíduos empregados com potencial de serem UVE, contabilizando 82% do número total de subsecções, representando no total 65,5% da área de estudo. Tal como o número de potenciais UVE residentes, o número de potenciais UVE empregados foi agrupado em freguesias (Figura 37). Nesse observa-se que algumas freguesias da área central e a norte dessa são as que concentram o maior número de potenciais UVE, nomeadamente Alvalade, Avenidas Novas, Areeiro, Arroios, Santo António e Santa Maria Maior que, juntas, concentram 70% do número total de potenciais utilizadores em apenas 18% do território em estudo. Há 8 freguesias (São Vicente, Ajuda, Santa Clara, Carnide, Olivais, Alcântara, Penha de França e Beato) que concentram menos de 100 potenciais utilizadores cada que, juntas, concentram apenas 5% do número total de potenciais utilizadores numa área que representa 32% da área total.

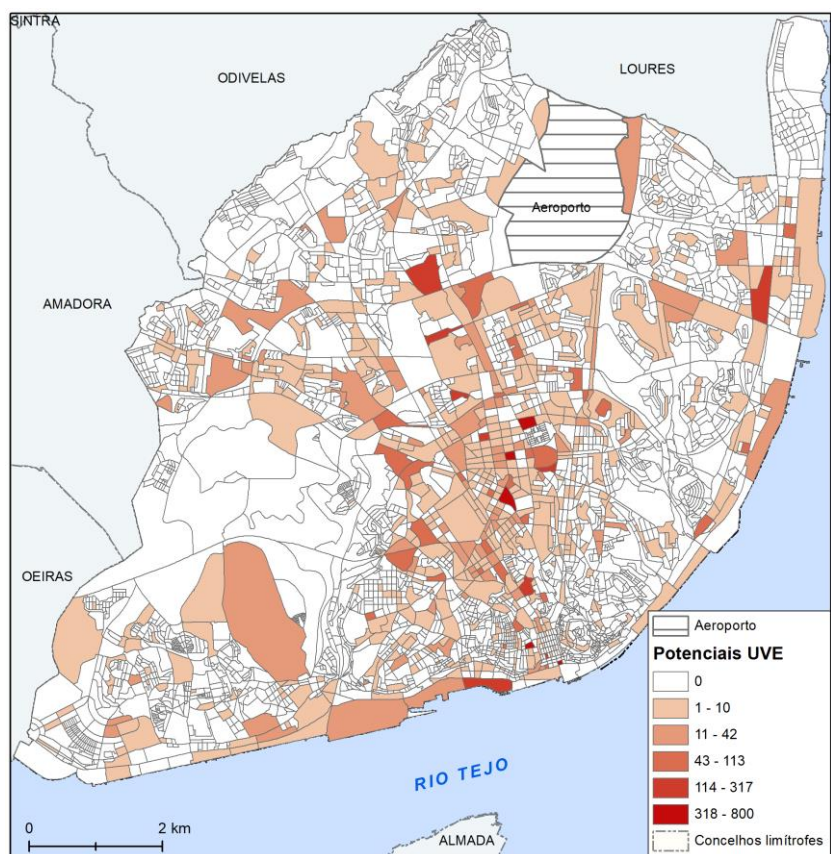


Figura 36 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos empregados por subsecção estatística na área de estudo.

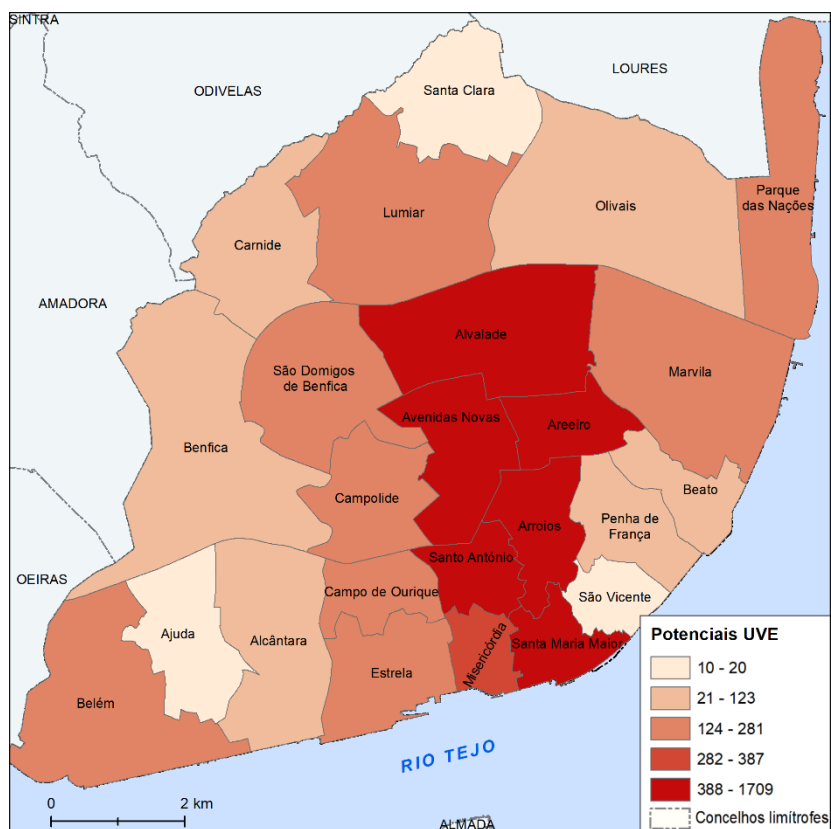


Figura 37 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos empregados por freguesia na área de estudo.

Em relação aos postos de carregamento candidatos (fictícios), tal como aconteceu para as áreas de residência, para a sua geração de acordo com o número de potenciais utilizadores empregados, foi efetuada a agregação das áreas aptas pela subsecção estatística com a informação do número de empregados. De seguida, foram gerados pontos aleatórios dentro das áreas aptas proporcionalmente ao número de potenciais utilizadores. No total, foram gerados cerca de 10 mil e 500 pontos, distribuídos conforme consta na Figura 38.

Os passos que se seguiram após a definição das variáveis foram muito idênticos aos já explicados na metodologia para criação da rede ótima de postos de carregamento normal públicos nas áreas residenciais. A rede (*Network dataset*) foi a mesma e apenas os parâmetros no modelo *New Location-allocation* diferiram, uma vez que se tratam de contextos de carregamento diferentes, assumindo assim características diferentes de utilização dos postos.

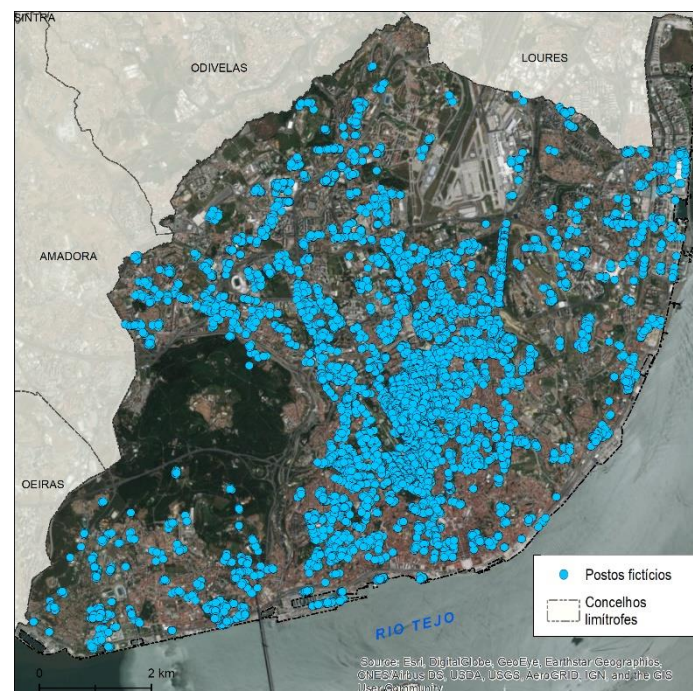


Figura 38 - Distribuição dos postos fictícios para entrada no modelo das áreas de trabalho, na área de estudo.

O modelo baseou-se em dados bibliográficos, tal como o anterior, tendo os mesmos princípios que o modelo principal realizado nas áreas de residência, exceto no que toca à capacidade dos postos de carregamento. Como foi referido na caracterização do perfil de carregamento/utilização, os carregamentos nas áreas de trabalho (o segundo método mais utilizado) acontecem maioritariamente durante o dia e, contrariamente aos postos nas áreas residenciais, em que um VE fica conectado com o ponto durante várias horas (durante a noite) mesmo que não esteja em carregamento, têm uma duração mínima média de 5 horas, o que significa que há possibilidade de se conectarem mais que um UVE num único ponto de carregamento (tomada). Assim, foi assumido que cada ponto de carregamento seria utilizado por

2 UVE por dia, levando a que a capacidade padrão dos postos de carregamento subisse para 16, em vez de 8 no modelo principal das áreas residenciais. Concluindo, os parâmetros definidos para modelação da rede de postos nas áreas de trabalho:

- Tipo de problema: *Maximum capacited coverage*
- Impedância: FootTime
- Limite de distância entre o UVE e os postos: 400 m (8 min)
- Percurso: *Demand to Facility*
- Capacidade padrão: 16
- Sem restrições (*oneway*)

O modelo foi realizado em *python*, da mesma forma que os modelos dos postos das áreas residenciais, ou seja, os esquemas da Figura 34 e da Figura 64 são representativos do modelo realizado neste caso, apenas mudando as variáveis de entrada e, no caso do primeiro, a capacidade dos postos, que é 16 neste caso.

5.3.4.Postos de carregamento rápido públicos

A metodologia para a localização ideal dos postos de carregamento rápido difere da metodologia aplicada para os outros contextos de carregamento. É mais simples, não envolve modelação, uma vez que não há uma procura específica regular para estes postos mas sim uma necessidade esporádica, e passa apenas pela seleção dos postos de combustível nas áreas onde essa necessidade tem mais propensões de surgir, que são nas áreas onde os UVE estão localizados, nas áreas de tráfego intenso e ao longo da rede viária principal (autoestradas e outras vias de elevado nível de hierarquia) para colmatar situações de emergência e carregamentos em viagem. A decisão da localização pelos postos de combustível trata-se por ser uma infraestrutura preparada para pequenas paragens de abastecimento, que aliás, atualmente já tem vindo a receber postos de carregamento.

Assim, para a definição das áreas onde se localizam potenciais UVE foi utilizada, como referido, a informação pontual dos potenciais utilizadores gerada no contexto das metodologias de postos de carregamento normal. Foi gerado um mapa de concentração, com recurso à densidade de Kernel, que indica onde a concentração de potenciais UVE é mais elevada (Figura 39), sendo essas as áreas onde haverá uma maior necessidade da utilização do carregamento rápido. No total, correspondem a cerca de 6 km², apenas cerca de 7% da área de estudo total, concentrando 34% do total dos potenciais UVE.

Em relação à rede viária, foi realizada a seleção da rede viária de hierarquia 1 (elevada), juntando-a à já seleccionada rede viária que apresenta regularmente tráfego elevado, sendo visível

na Figura 40. No total, a rede viária selecionada tem 302 km de cumprimento, cerca de 20% do cumprimento total da rede viária da área de estudo.

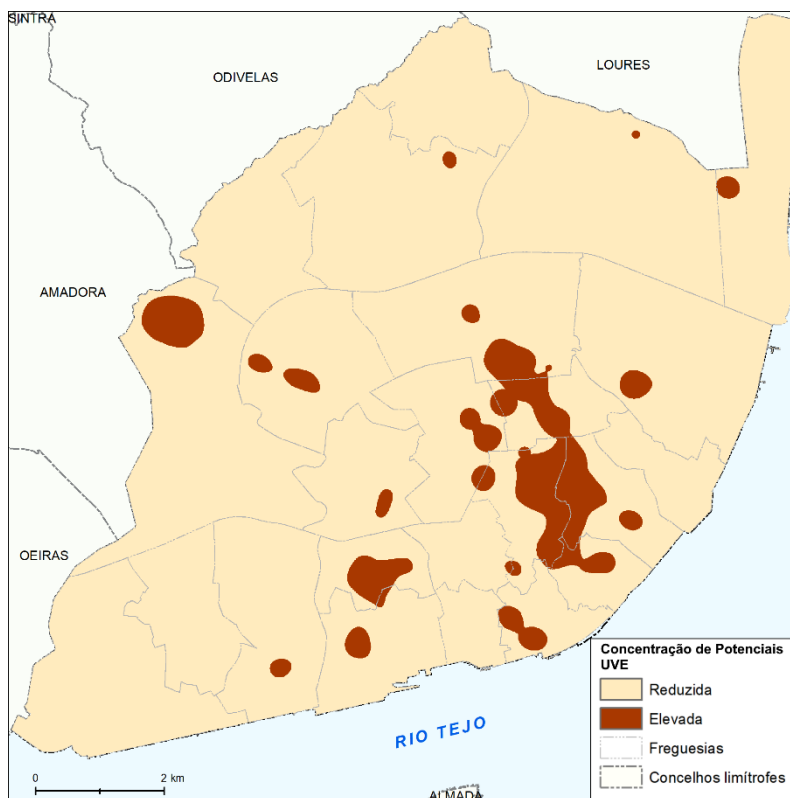


Figura 39 – Concentração dos potenciais utilizadores de veículos elétricos na área de estudo.

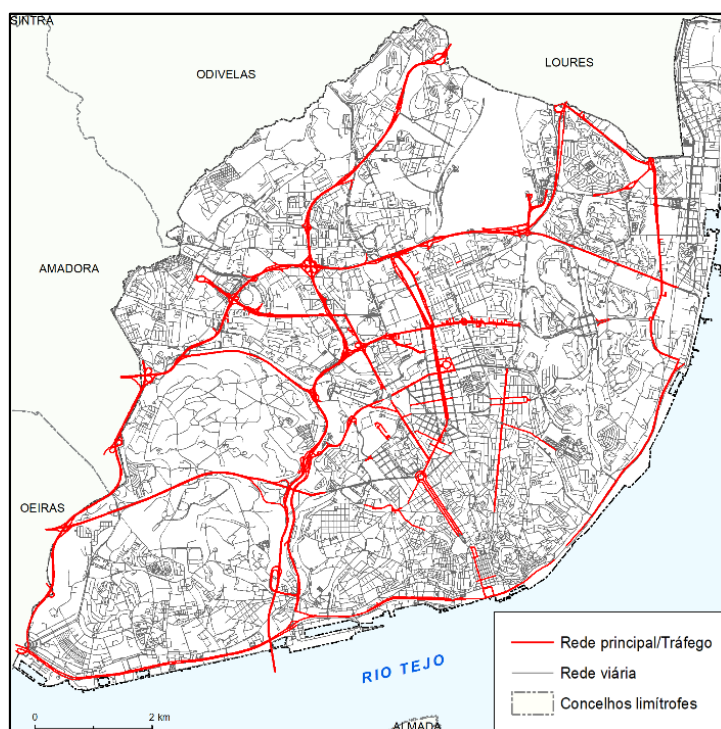


Figura 40 - Rede viária selecionada para definição da localização dos postos de carregamento rápido na área de estudo.

De seguida, foi realizada a seleção dos postos de combustível (Figura 41) que se localizavam nas áreas identificadas como concentração de potenciais UVE ou que se apresentavam ao longo da rede viária selecionada. Desta forma, foram localizados os postos de carregamento rápido para a área de estudo.

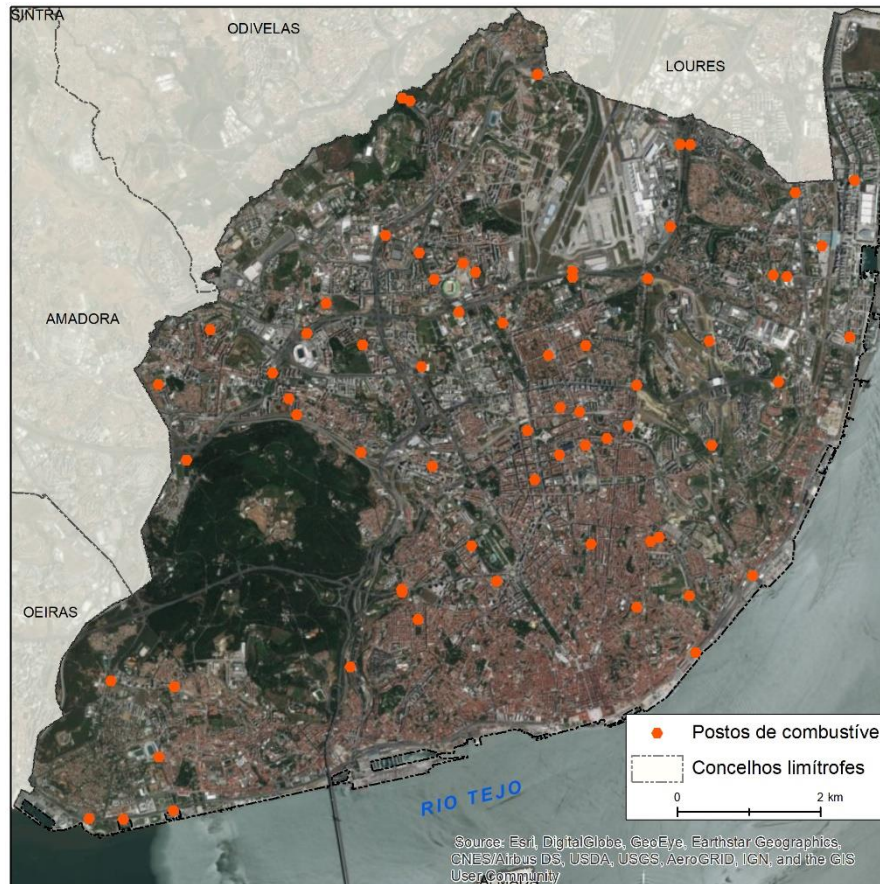


Figura 41 - Postos de combustível na área de estudo.

5.4. Análise de resultados

5.4.1. Postos de carregamento normal públicos nas áreas de residência

Os resultados dos modelos dividem-se em informação das *facilities* (postos de carregamento), *demand* (potenciais utilizadores) e linhas de conexão (alocações) entre os dois. No exemplo aproximado, Figura 42, podem observar-se as alocações dos potenciais UVE aos postos de carregamento. Ainda que o modelo tenha utilizado a rede viária, no resultado são mostradas as alocações em linha reta. É possível observar o número de potenciais UVE localizados no centroide das áreas de edificado de cada subsecção estatística e os postos escolhidos dispersos pela área de amostra, por norma localizados próximos à rede viária.

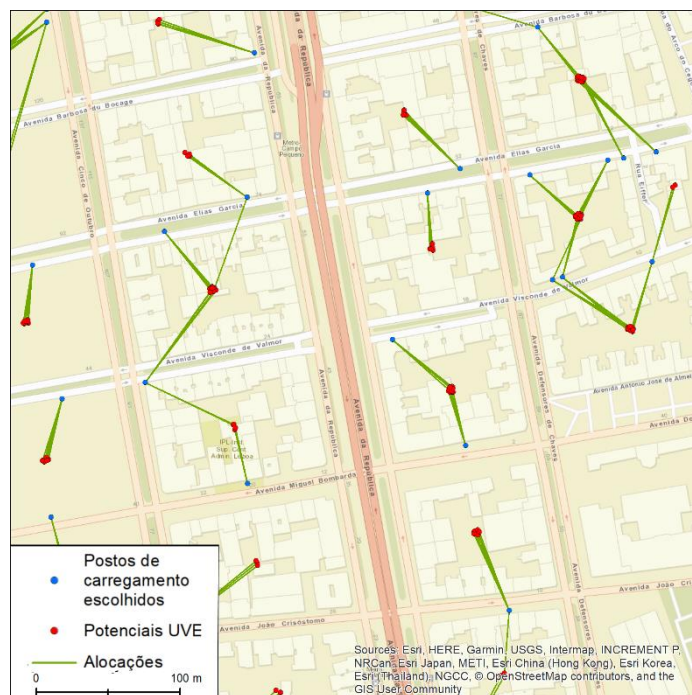


Figura 42 - Exemplo aproximado do resultado do modelo principal.

Será realizada uma análise mais pormenorizada ao primeiro modelo, tratando-se do principal, e uma comparação dos restantes com esse. Além do mapa dos postos de carregamento, esses foram associados às subsecções estatísticas e às freguesias, uma vez que, por um lado, não se pretende demonstrar a localização específica dos postos de carregamento escolhidos e, por outro lado, é possível uma análise mais versátil e detalhada.

Como resultado foram escolhidos 3034 postos de carregamento (6068 tomadas), distribuídos como pode ser observado na Figura 43. O resultado indica uma média de 0,16 postos por utilizador (média de 6 utilizadores por posto), tendo sido escolhidos cerca de 17% dos postos candidatos. Dos 133 postos de carregamento existentes que entraram no modelo já como escolhidos, apenas 14 foram associados potenciais UVE. Apenas 1,4% (254) dos potenciais UVE não foram associados a postos de carregamento. Uma vez que o modelo associa os utilizadores aos postos mais próximos, medindo a distância pela rede viária, pode acontecer o UVE encontrar-se a mais de 400 metros de um posto ou, estando dentro dessa distância, os postos onde era suposto ser associado já se encontram sem capacidade para alocar mais um utilizador. Essa questão relaciona-se, claramente, com a distribuição dos postos candidatos gerados, querendo com isto dizer-se que o facto de não terem sido identificadas áreas aptas (ao nível de detalhe gerado) em locais onde há UVE não associados não significa que não seja possível colocar aí um posto de carregamento, sendo necessário, em situação real, a análise numa escala maior (maior detalhe).

Em média, um UVE percorre cerca de 79 m até ao posto que foi alocado. Em termos de tempo, essa distância é percorrida em menos de 2 minutos, o que é bastante favorável. Na verdade, cerca de 69% dos potenciais UVE encontram-se a menos de 2 minutos dos postos de carregamento a que foram alocados, sendo que apenas cerca de 9% dos utilizadores percorrem mais de 200m (mais de 4 minutos), não havendo potenciais UVE que percorram mais de 400 m (8 minutos), devido ao limite de distância já referido.

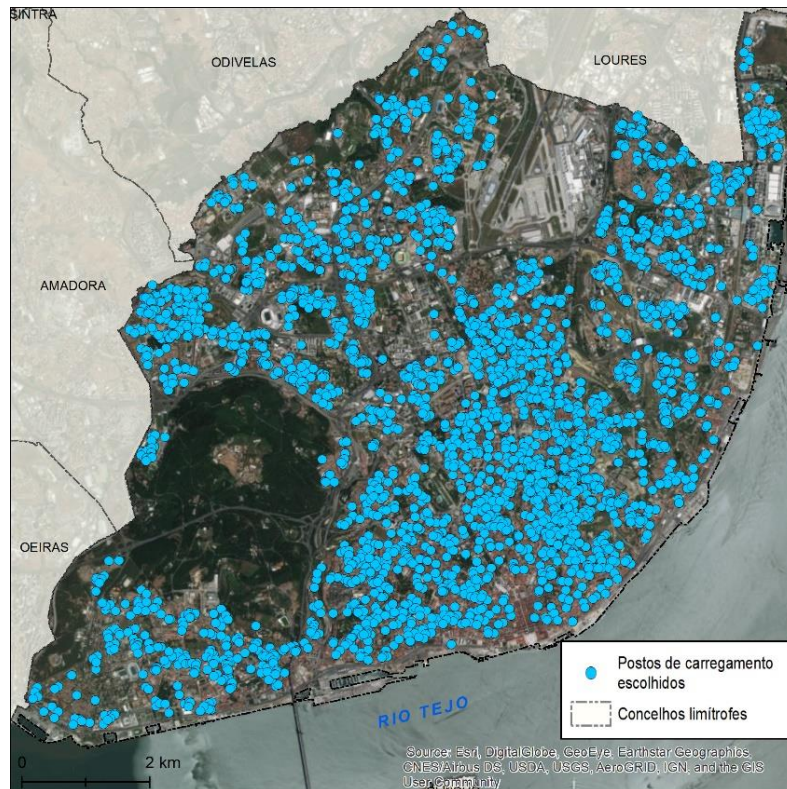


Figura 43 - Distribuição dos postos de carregamento escolhidos no modelo principal nas áreas de residência da área de estudo.

Com recurso à Figura 44, que demonstra o número de postos escolhidos por subsecção estatística, pode concluir-se que a distribuição segue, naturalmente, a distribuição dos potenciais utilizadores, assim como já seguia a variável de entrada de postos candidatos fictícios que deu origem a este resultado. Nota-se uma maior presença na área central, com várias áreas de elevado valor também um pouco dispersas pelo território. Não foram colocados postos de carregamento em cerca de 2 mil áreas de subsecção estatística (56% do número total), fazendo com que a área total das subsecções que têm um ou mais postos de carregamento seja de 48 km², representando cerca de 56% da área de estudo. Em média, cada subsecção nas quais foram colocados postos, tem localizado cerca de 2 postos, esse valor diminui para 0,8 se considerarmos todo o território (incluindo as subsecções onde não existem postos resultantes).

Nem em todas as áreas onde não foram atribuídos postos de carregamento se verifica a ausência de potenciais UVE, uma vez que esses podem ser associados a postos localizados noutras subsecções. Estes casos acontecem, naturalmente, nas áreas de subsecção estatística mais pequenas, totalizando cerca de 895 subsecções (24%), que concentram 3197 residentes potenciais UVE, dos quais 125 não foram associados a postos de carregamento. O contrário também acontece, terem sido escolhidos postos de carregamento nos locais onde não existem potenciais UVE, havendo 6 subsecções estatísticas nesse caso, tratando-se de postos de carregamento existentes que entraram no modelo já como escolhidos.

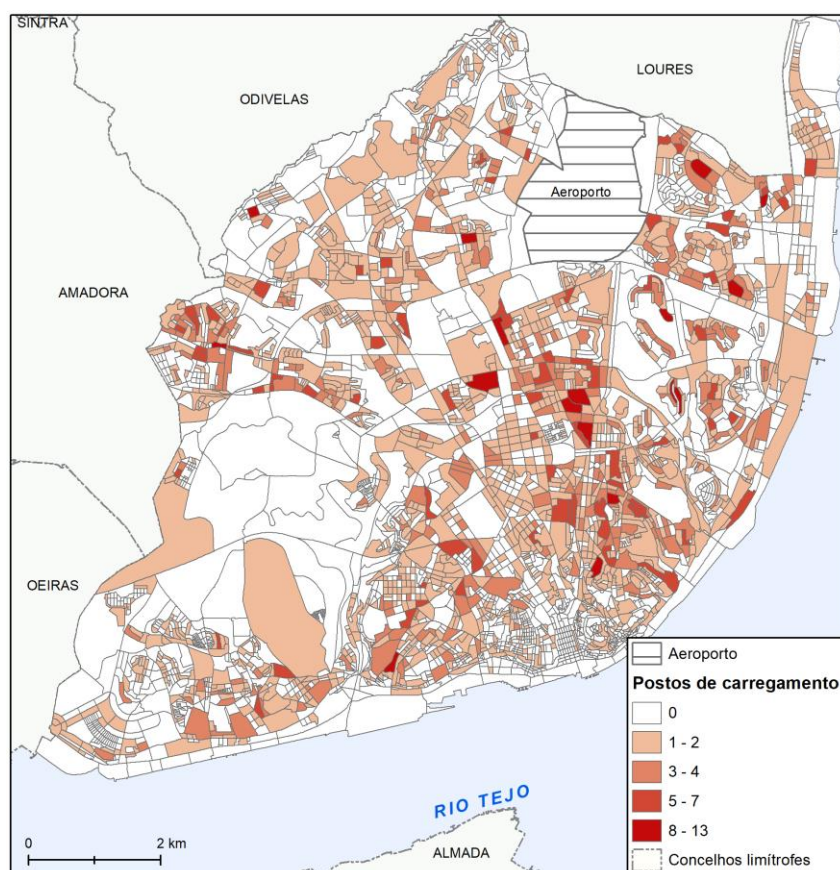


Figura 44 - Postos de carregamento escolhidos no modelo principal nas áreas de residência por subsecção estatística na área de estudo.

Ao observar um nível de agregação mais generalizado, a nível da freguesia, Figura 45, verifica-se que existe alguma variação no número de postos de carregamento pelas áreas de freguesia, situando-se entre os valores 40 e 229, com uma média de 126 postos por freguesia e um desvio padrão de 57,5. Verificam-se freguesias com valores mais elevados, nomeadamente Arroios, Marvila, Olivais, Alvalade, Lumiar e Benfica, que juntamente com a freguesia Penha de França acolhem 50% dos postos de carregamento escolhidos na área de estudo, representando 46% da área de estudo. Em contra partida, são 14 as freguesias que apresentam um número de postos de carregamento inferior à média, que juntas representam 44% da área de estudo.

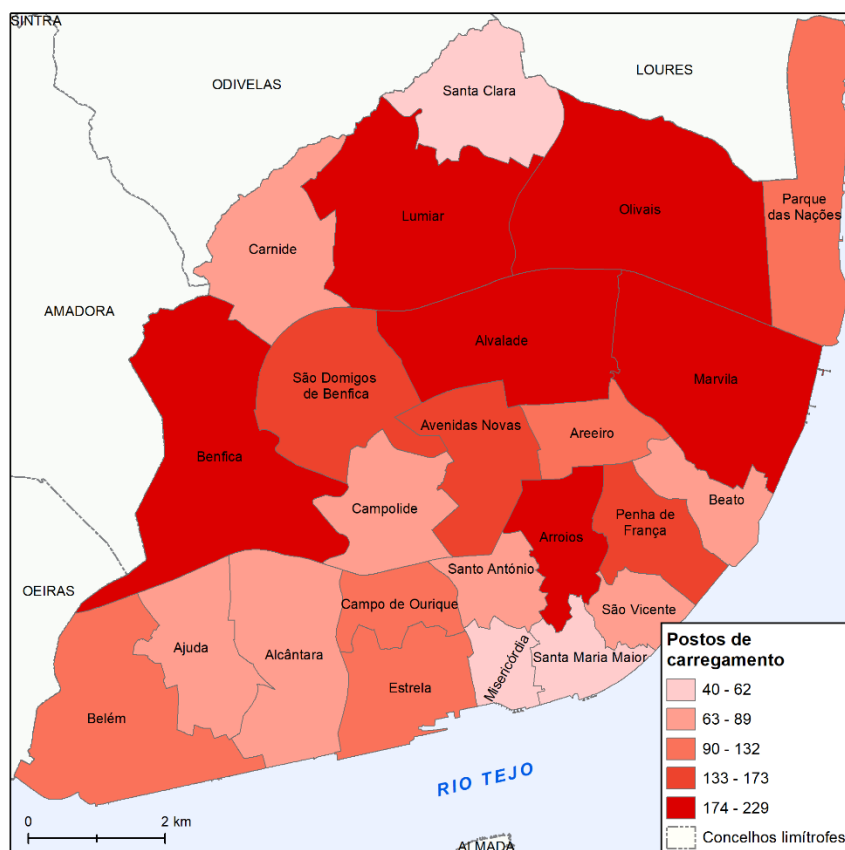


Figura 45 – Postos de carregamento escolhidos no modelo principal nas áreas de residência por freguesia na área de estudo.

Em média, por freguesia, foram alocados entre 3,8 e 7,6 potenciais UVE por posto de carregamento (Figura 46), sendo que a distribuição deste valor pelas freguesias difere do mapa anterior. A diferença destes valores pode ter vários significados, estando dependente, obviamente, da variação do número de potenciais UVE e de postos de carregamento. Os valores reduzidos em locais com elevado número de postos podem significar que os potenciais UVE estão dispersos pela área, fazendo com que também o estejam os postos de carregamento, servindo pequenos grupos de potenciais UVE (o mesmo pode acontecer inversamente). Ao observarmos a densidade de postos de carregamento por freguesia é possível retirar um melhor entendimento desse aspeto (Figura 47), bem como uma interpretação normalizada relativamente ao número de postos de carregamento na área de estudo. Verifica-se uma maior densidade de postos de carregamento nas freguesias de Arroios, Areeiro e Penha de França, superior a 75,4 postos por km². Freguesias como Lumiar, Olivais, Benfica e Marvila, que concentram os maiores números de postos de carregamento, apresentam valores reduzidos de entre 22,6 e 35 postos por km². Relativamente ao número médio de metros percorridos até ao posto de carregamento por potencial UVE (Figura 48), verifica-se um intervalo de valores entre 50 e 122m, o que não é uma diferença muito grande, sendo as freguesias de Olivais e Santa Maria Maior a apresentar os números mais levados (superior a 98m).

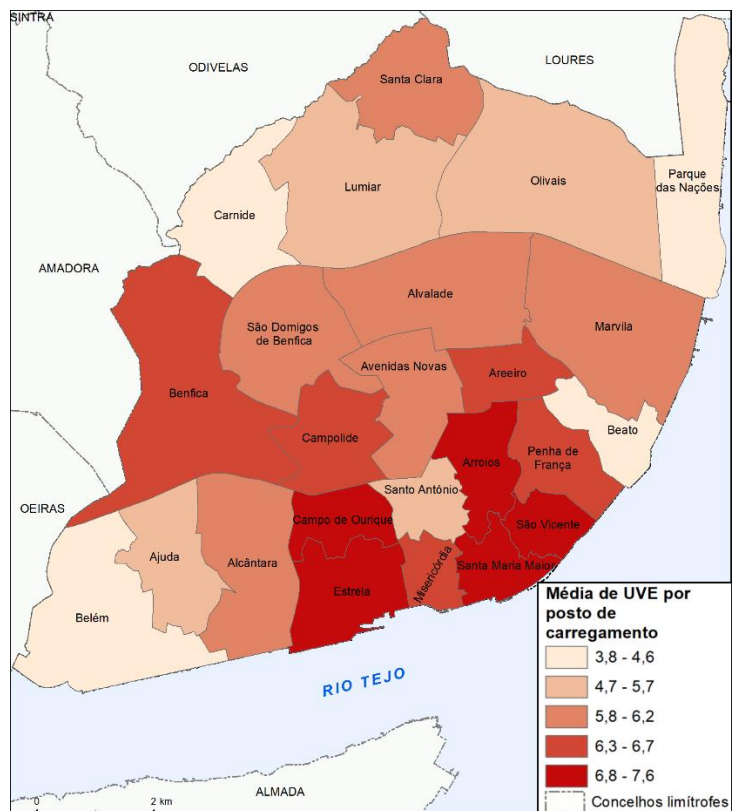


Figura 46 - Número médio de potenciais utilizadores de veículos elétricos residentes por posto de carregamento, por freguesia na área de estudo.

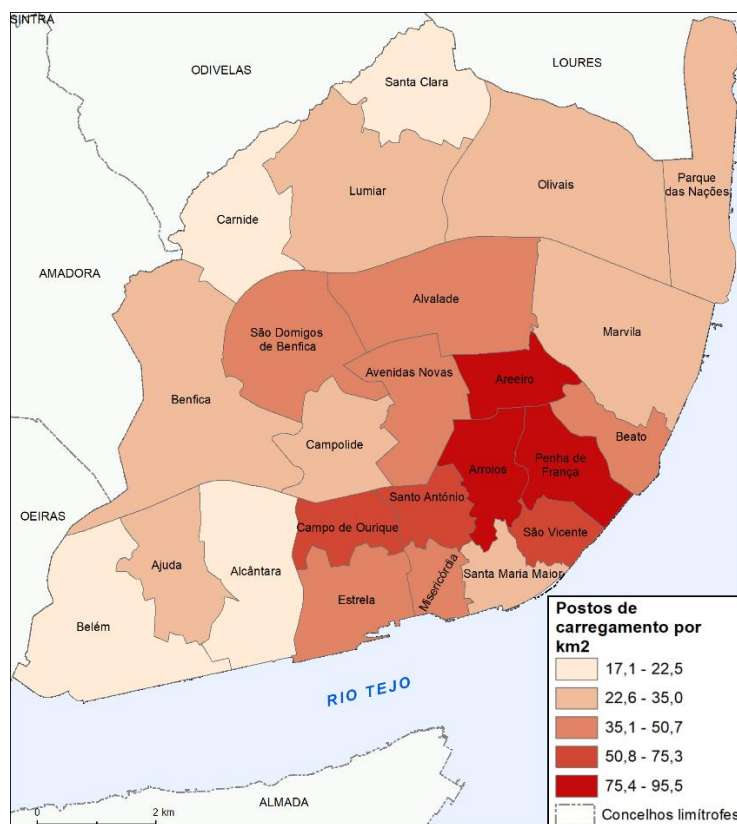


Figura 47 - Postos de carregamento escolhidos nas áreas residenciais por km², por freguesia na área de estudo.

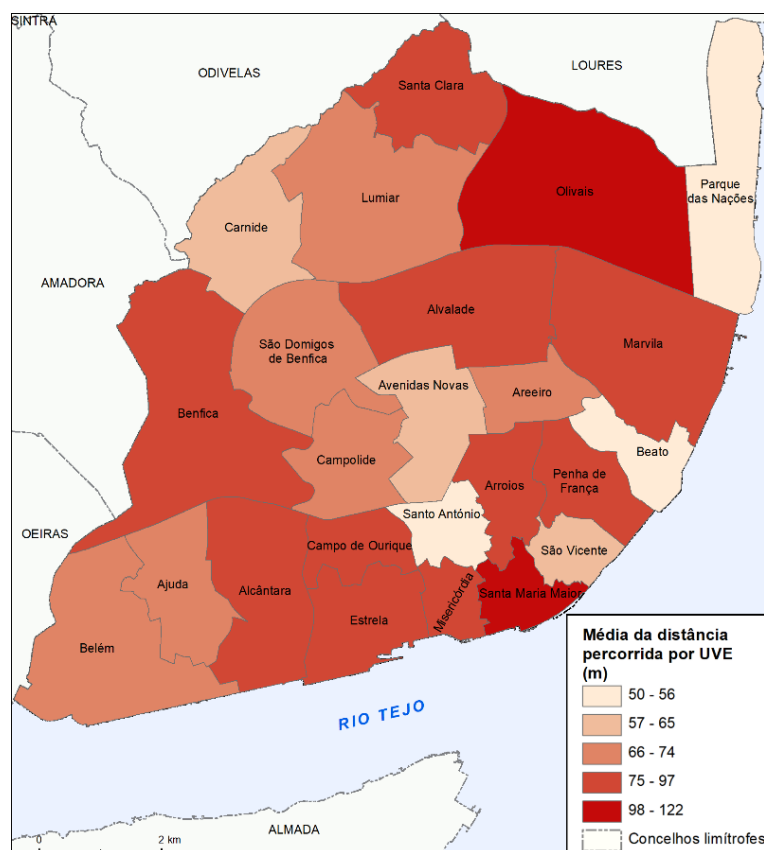


Figura 48 - Número médio de metros percorridos por potencial utilizador de veículos elétricos residente ao respetivo posto de carregamento, por freguesia na área de estudo

5.4.1.1. *Influência da evolução tecnológica e comportamental no planeamento*

O facto de terem sido realizados 4 modelos simulando a evolução tecnológica dos VE e o comportamento de carregamento/condução dos UVE permite realizar uma análise em como essas características influenciam a distribuição e planeamento de postos de carregamento. No Quadro 14 podem ser observados alguns dados gerais por modelo, lembrando que o Modelo 1 simula a realidade atual conforme a bibliografia consultada para o enquadramento teórico, o Modelo 2 simula a evolução tecnológica das baterias, o Modelo 3 simula a mudança de comportamento dos UVE mantendo a tecnologia como se encontra atualmente e o Modelo 4 é uma junção dos dois anteriores, simulando uma mudança comportamental e a evolução tecnológica das baterias.

Verifica-se uma relevante redução do Modelo 1, o principal, relativamente ao Modelo 4, à medida que a capacidade dos postos de carregamento aumenta, de tal forma que dos modelos 2, 3 e 4 resultam menos 33,7, 37,7 e 45% postos de carregamento, respetivamente, que o número de postos resultante do modelo 1. A média de potenciais UVE por posto de carregamento aumenta, assim, entre modelos, de 6,1 (Modelo 1) para 11,1 (Modelo 4). Em termos de distância percorrida até ao posto de carregamento, por UVE, verifica-se uma redução entre o Modelo 1 e os restantes modelos. No entanto, o Modelo 4, com mais capacidade, apresenta uma média igual à do Modelo

2, sendo que o Modelo 3 apresenta a média mais reduzida. O número de potenciais UVE não alocados a postos de carregamento também diminui entre modelos, conforme aumenta a capacidade. Justificando o número mais elevado de potenciais UVE não associados no Modelo 1, devendo-se, então, à ocupação (associação) total dos postos de carregamento, não havendo depois mais postos a menos de 400m desses potenciais UVE.

Quadro 14 - Comparação entre os modelos *location-allocation* realizados.

	Modelo 1	Modelo 2	Modelo 3	Modelo 4
Nº de postos de carregamento	3034	2012	1889	1670
Percentagem em relação ao modelo principal	0	-33,7	-37,7	-45,0
Média de postos por UVE	0,16	0,11	0,10	0,09
Média de UVE por posto	6,1	9,2	9,8	11,1
Média da distância percorrida por UVE (metros)	79	69	64	69
Nº de UVE não associados	254	62	48	19

Ao nível da subsecção estatística identificam-se áreas que perdem e áreas que ganham postos de carregamento. Entre o Modelo 2 e o Modelo 1, 24% das subsecções estatísticas perderam postos de carregamento e 7% ganharam, entre o Modelo 3 e o Modelo 1, bem como entre o Modelo 4 e o Modelo 1, a percentagem de subsecções que perderam postos foi de 25% e das que ganharam foi de 8%. A importância destes dados fixa-se nas diferenças de distribuição de postos de carregamento pelo território tendo em conta a evolução de comportamento do UVE e evoluções tecnológicas intrínsecas nos VE, o que coloca uma importância superior ao planeamento de postos de carregamento nesta fase de adoção do VE.

Ao nível das freguesias consegue-se obter uma perspetiva mais abrangente, permitindo o cálculo de outras variáveis. Na Figura 49, está representada a média da diferença de postos de carregamento entre os modelos 2,3 e 4 e o Modelo 1. A média foi calculada porque o padrão espacial era idêntico nos resultados dos 3 modelos. No fundo, verifica-se que as freguesias que têm um maior número de postos de carregamento associados são aquelas que perderão postos de carregamento com a evolução (de 83 a 100 postos, em média), sendo que o contrário também se verifica, como os casos das freguesias de Misericórdia e Santa Maria Maior que perdem de 7 a 22 postos de carregamento.

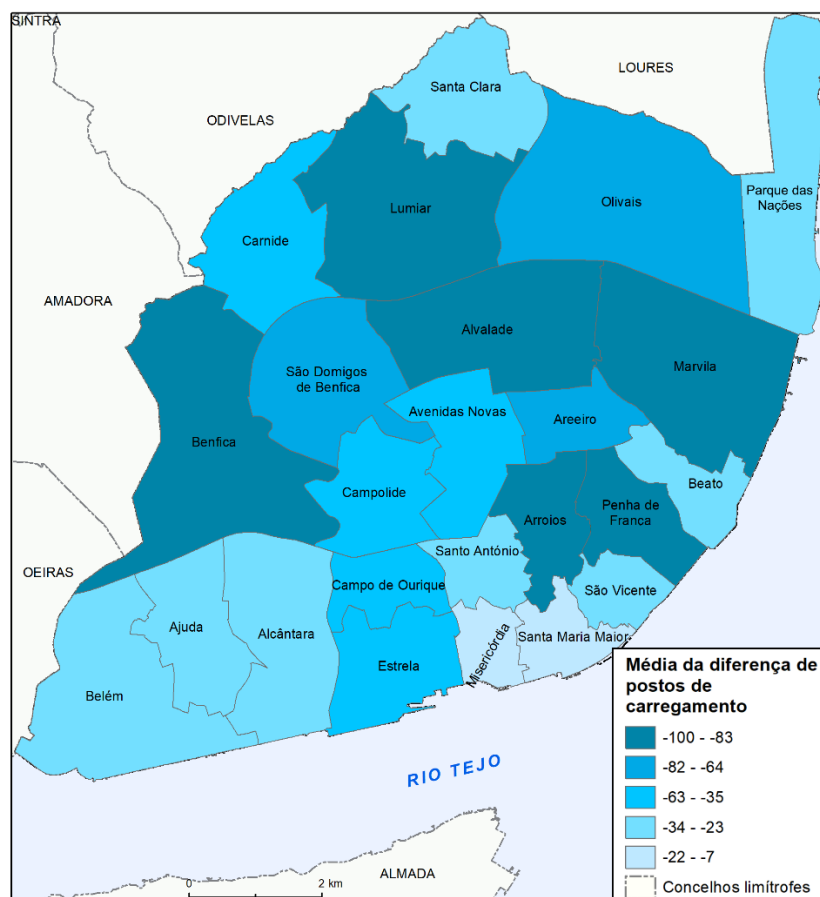


Figura 49 - Média da diferença de postos de carregamento entre o Modelo principal e os Modelos 2,3 e 4, por freguesia na área de estudo.

Em termos de distância percorrida também foi calculada a média dos 3 modelos relativamente ao principal pelos mesmos motivos (Figura 50). Observa-se que, apesar de, na generalidade, a distância diminuir, existem casos de freguesias em que a distância percorrida aumenta, mas são valores reduzidos (apenas de 1 a 28 m). Este comportamento deve-se ao número de potenciais UVE e postos de carregamento presentes nessas áreas, como não são muitos e estão distribuídos de forma menos regular, o modelo tenta equilibrar escolhendo postos de carregamento que sirvam potenciais UVE de vários locais. Contrariamente, nas freguesias com maior número de potenciais UVE e postos de carregamento, como esses são distribuídos de forma mais regular e próxima entre si, a maior capacidade dos postos leva a que os potenciais UVE não fiquem alocados a um posto de carregamento mais distante pela ocupação total dos postos mais perto da sua localização.

Assim, como aumenta a capacidade dos postos, e o número de postos de carregamento diminui, a média de potenciais UVE por posto também aumenta em todas as freguesias, seguindo o padrão apresentado para o Modelo 1, à exceção do Modelo 4, em que os valores mais elevados se observam nas freguesias de Carnide, Santa Clara e Penha de França.

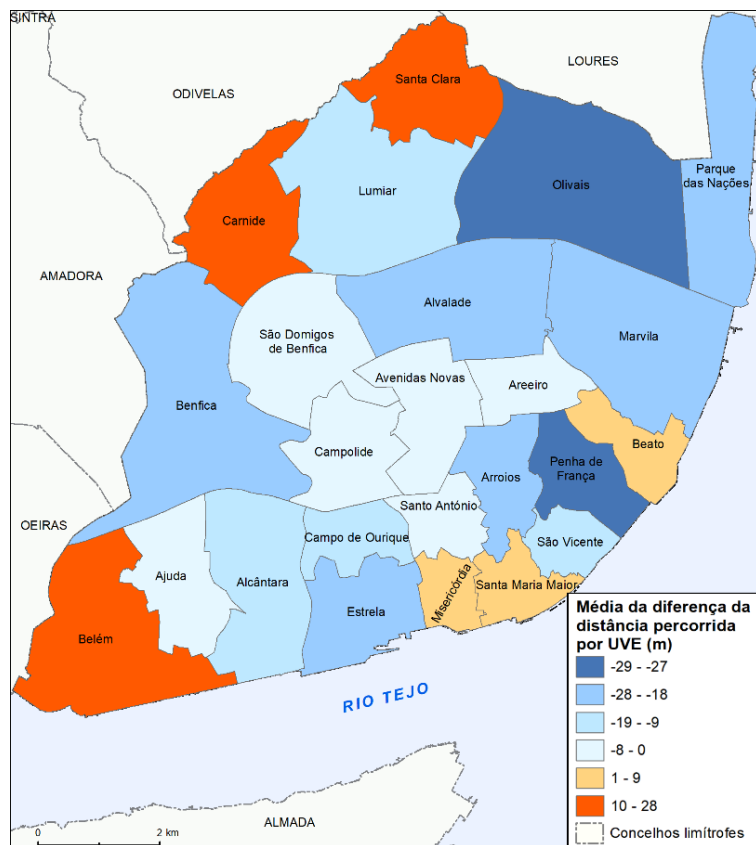


Figura 50 - Média da diferença da distância percorrida entre os Modelos 2, 3 e 4 e o Modelo 1, por freguesia na área de estudo.

5.4.2. Postos de carregamento normal públicos nas áreas de trabalho

O resultado deste modelo foi, como no caso dos postos residenciais, informação pontual sobre os potenciais utilizadores, informação pontual sobre os postos de carregamento e informação linear sobre a ligação entre esses, como foi mostrado na Figura 42, a exemplo do modelo realizado para os postos de carregamento nos locais de residência.

No total, foram escolhidos 969 postos de carregamento (1938 tomadas; 9,2% dos postos que entraram como candidatos no modelo) de forma a servir os empregados com potencial de serem UVE na área de estudo. Os postos encontram-se distribuídos conforme consta na Figura 51, notando-se uma maior presença na área central, com continuação para norte, existindo uma média de 0,12 postos de carregamento por potencial UVE, ou seja, cerca de 9 potenciais utilizadores por posto de carregamento. Estes números diferem do modelo principal realizado para as áreas residenciais na medida em que também difere a capacidade dos postos de carregamento. À semelhança dos resultados anteriores, neste modelo apenas foram escolhidos 13 postos de carregamento já existentes (mesmo entrando no modelo como escolhidos). O número de potenciais UVE não associados foi significativamente maior, cerca de 10% dos empregados

não foram associados a postos de carregamento por se encontrarem a mais de 400 m de um posto, sendo que a média de metros que esses tinham de percorrer para serem associados seria 485 m, relativamente próximo do limite imposto, ainda que existam casos em que o potencial UVE teria de percorrer mais de 1 km para realizar o carregamento. Mais uma vez estes casos teriam de ser analisados, dado que a delimitação das áreas aptas para localização de postos de carregamento foi realizada a uma escala menor do que a ideal para este problema. Em média, um empregado potencial UVE percorre cerca de 100 m entre a sua localização e o posto de carregamento, demorando cerca de 2 minutos nesse trajeto, acrescentando que cerca de 62% dos potenciais UVE realizam o seu trajeto em menos de 2 minutos (100 m).

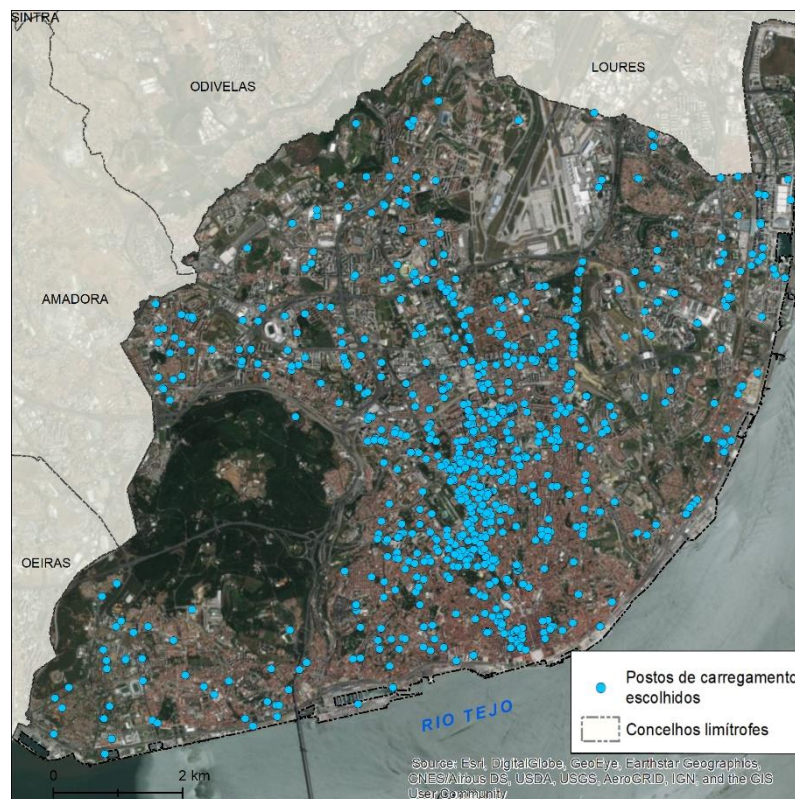


Figura 51 - Distribuição dos postos de carregamento escolhidos nas áreas de trabalho da área de estudo.

Os postos de carregamento escolhidos foram agrupados por subsecção estatística, visível na Figura 52, sobressaindo, além das subsecções da área central e norte dessa, algumas subsecções na área este, junto à margem do rio Tejo, nas freguesias de Marvila e Parque das Nações (relembrando que não foi possível obter dados dos empregados para a área a norte do Parque das Nações, sendo o resultado bastante influenciado por isso). Em cerca de 86% das subsecções estatísticas (3151) não foram colocados postos de carregamento (3205 – 88% - se se contar com as subsecções da área sem dados da freguesia do Parque das Nações), correspondendo a 72% da área total da área de estudo (74% com a área norte da freguesia do Parque das Nações). Em média, contando apenas com as subsecções estatísticas com postos de carregamento, há 3,7 postos de

carregamento por subsecção estatística, caindo esse valor para 0,26 se se contar com todas as subsecções.

Existem 8 subsecções estatísticas em que foram colocados postos de carregamento sem existência de empregados potenciais UVE. O contrário verifica-se em maior número, sendo 207 subsecções (5,6% do total), que concentram 1344 potenciais UVE (cerca de 14%), dos quais 416 correspondem a potenciais UVE não associados.

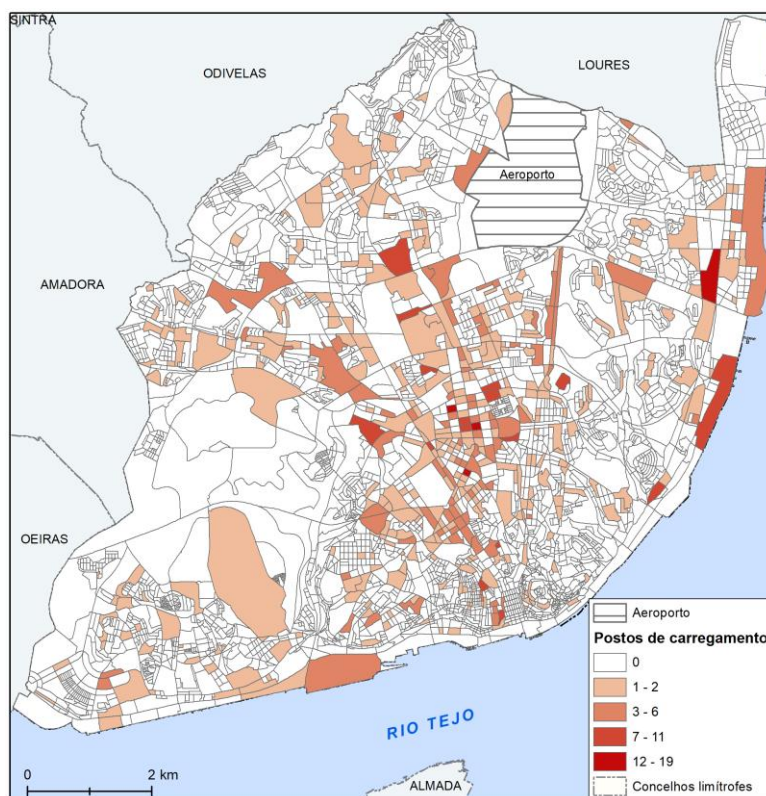


Figura 52 - Postos de carregamento escolhidos nas áreas de trabalho, por subsecção estatística na área de estudo.

Ao nível de agregação à freguesia (Figura 53) é bastante claro a concentração de postos de carregamento na área central e a norte dessa, com as freguesias Avenidas Novas e Alvalade a sobressair com mais de 100 postos de carregamento, e Areeiro, Arroios e Santo António também a apresentar elevadas concentrações, com mais de 50 postos de carregamento. Juntas, estas freguesias concentram 55% dos postos de carregamento normal públicos das áreas de trabalho, representando 15,7% da área total de estudo. Em contrapartida existem freguesias com menos de 10 postos de carregamento, como Carnide e Santa Clara, que também foram das freguesias onde foram colocados menos postos de carregamento como resultado do modelo principal nas áreas de residência. Juntamente com essas estão, com 10 ou menos postos, Beato, São Vicente, Ajuda e Alcântara. Em média há cerca de 40 postos de carregamento por freguesia, sendo que apenas 8 freguesias (22% da área total de estudo) apresentam um número de postos de carregamento superior à média.

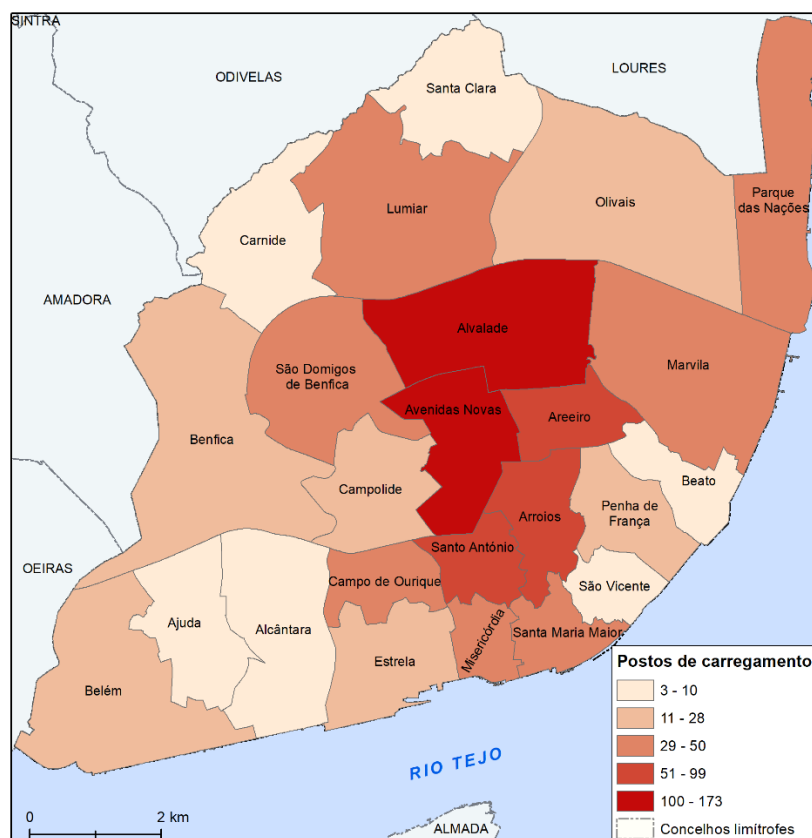


Figura 53 - Postos de carregamento escolhidos nas áreas de trabalho, por freguesia na área de estudo.

Conforme consta na Figura 54, foram alocados por freguesia em média 1,7 a 12,7 potenciais utilizadores por posto de carregamento. Mais uma vez como nas áreas residenciais, no caso dos postos nas áreas de trabalho, há freguesias com um elevado número de postos a apresentar médias reduzidas de potenciais UVE por posto, como caso de Alvalade, por exemplo, e há casos de freguesias com poucos postos de carregamento com médias elevadas de potenciais UVE por posto. Como foi explicado, essa relação é justificada pela dispersão/concentração dos postos pelas áreas das freguesias. Em termos de densidade de postos de carregamento (Figura 55), verifica-se, claramente, um *cluster* de freguesias com elevada densidade de postos na área central da área de estudo (superior a 20 postos por km²). Além dessas, a freguesia de Parque das Nações, Lumiar e Belém, apresentam valores ligeiramente elevados, com valores superiores a 5 postos de carregamento por km². Em contrapartida, são várias as freguesias com menos de 2,7 postos de carregamento por km². Em relação à média da distância percorrida (Figura 56), as freguesias que apresentam os valores mais elevados são, regra geral, aquelas que apresentam um número relativamente reduzido de postos de carregamento, justificando-se pelo facto de se dar oportunidade ao equilíbrio e eficiência em termos de custos da rede ótima de postos e não ao conforto do potencial UVE, isto é, o modelo tenta escolher um posto candidato que sirva várias localizações ao mesmo tempo, não sendo necessariamente o sítio mais próximo da localização do potencial UVE.

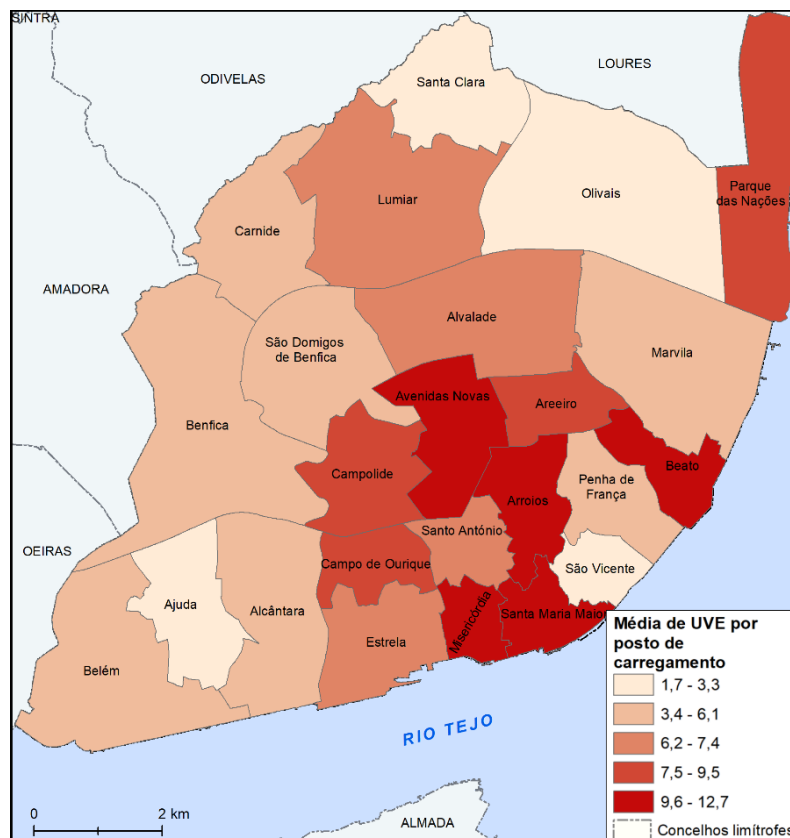


Figura 54 - Número médio de potenciais utilizadores de veículos elétricos empregados por posto de carregamento, por freguesia na área de estudo.

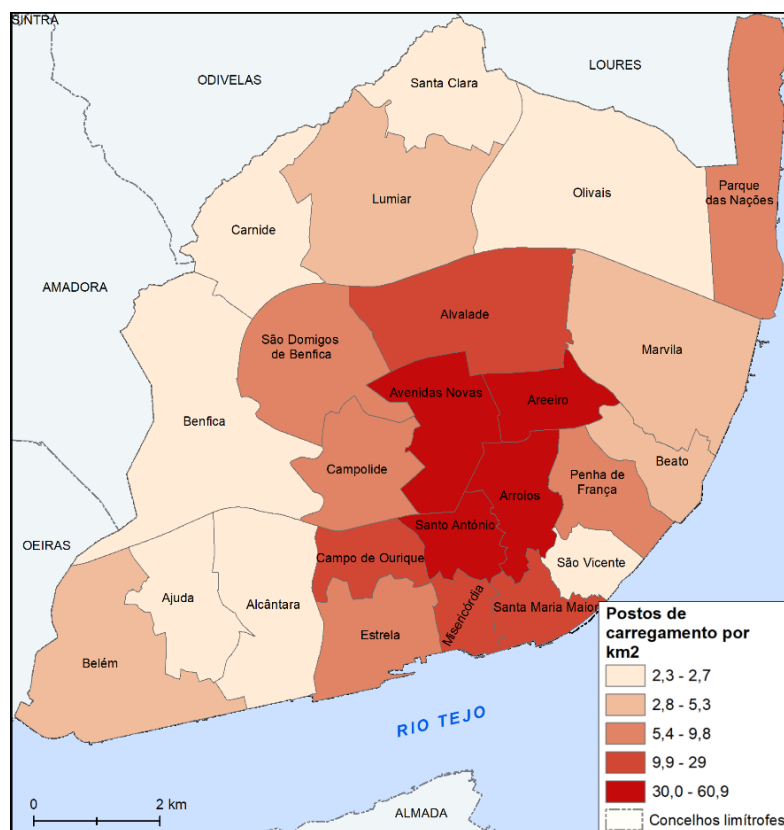


Figura 55 - Postos de carregamento escolhidos por km² nas áreas de trabalho, por freguesia na área de estudo.

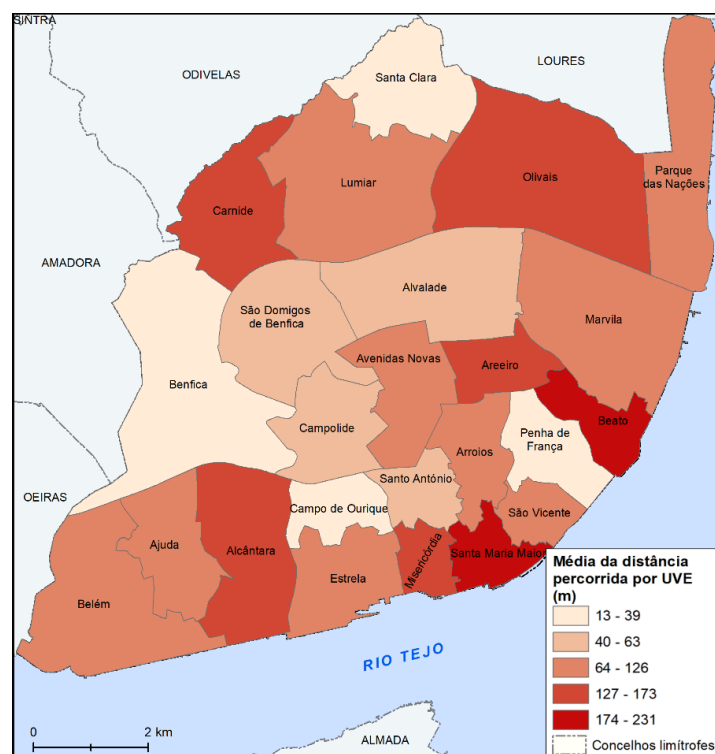


Figura 56 - Número médio de metros percorridos por potencial utilizador de veículos elétricos empregado ao respetivo posto de carregamento, por freguesia na área de estudo.

5.4.3. Postos de carregamento rápido públicos

O resultado da distribuição de postos de carregamento rápido pela área de estudo pode ser observado na Figura 57. No total foram localizados 42 postos desse tipo, dos quais 11 nas áreas de concentração de potenciais UVE, 29 ao longo da rede viária principal e com elevado volume de tráfego e 2 já existentes. Os postos encontram-se relativamente dispersos pela área de estudo, embora as áreas compreendidas nas freguesias Parque das Nações, Marvila, Ajuda, e áreas do centro histórico não estejam servidas por este tipo de postos de carregamento. Verifica-se um grupo de postos nas áreas de concentração de potenciais UVE, nas áreas de Avenidas Novas e Areeiro, uma vez que serviu como variável de entrada. Verifica-se também postos de carregamento ao longo da rede viária principal, nomeadamente da 2ª circular, Avenida da Índia, junto ao rio Tejo, da CRIL e da Av. Almirante Gago Coutinho.

Estes postos de carregamento carregam um VE, com total eficiência, no máximo em 30 minutos, dependendo também da bateria. O que significa que poderão, no máximo e embora pouco provável, servir 48 pessoas num dia (24h). Se isso acontecesse, com a distribuição de postos de carregamento resultante, o concelho de Lisboa teria capacidade de servir 2016 UVE por dia com carregamento rápido (1 tomada), no mínimo, dependendo do número de tomadas dos postos de carregamento.

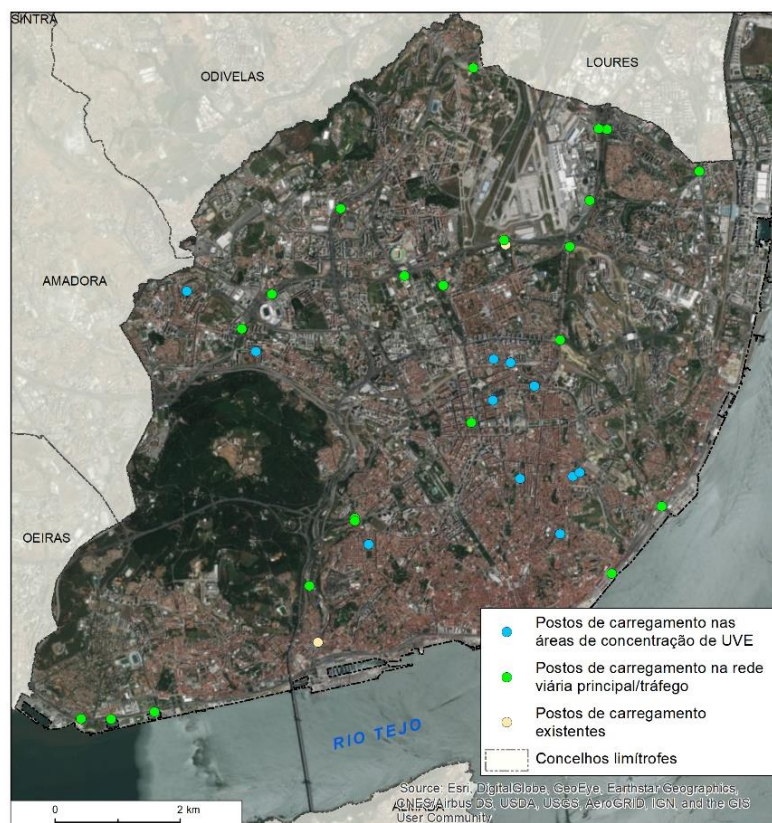


Figura 57 - Postos de carregamento rápido propostos e postos de carregamento rápido existentes na área de estudo.

5.4.4. Análise geral

Os resultados obtidos, dos postos de carregamento normal e rápido, podem ser combinados para uma análise geral, assim como os resultados da distribuição dos potenciais utilizadores, verificando-se assim o potencial da área de estudo. É importante frisar que para a área norte da freguesia Parque das Nações não foi possível recolher dados referentes ao número de empregados.

De acordo com a definição atual de utilizador de VE, segundo vários países que estão na linha da frente no que toca a mobilidade elétrica, o concelho de Lisboa tem potencialmente 27816 utilizadores, distribuídos por subsecção estatística como consta na Figura 58, podendo ser entendido como o potencial de utilização de veículos elétricos para a área em estudo. Em média existem cerca de 10 potenciais utilizadores por subsecção estatística (7 contando com as subsecções que não têm utilizadores), sendo que apenas 18 áreas dessas têm mais de 100 potenciais utilizadores, que concentram no total cerca de 5000 potenciais utilizadores (18%). De facto, 55% das subsecções estatísticas têm menos de 10 potenciais utilizadores por subsecção estatística, concentrando cerca de 7000 potenciais utilizadores (25% do total). As subsecções estatísticas onde não estão localizados potenciais utilizadores, não contabilizados nas estatísticas anteriores, são 991 (27% do total), sendo visível uma maior presença dessas áreas: na área do Parque Florestal de Monsanto, a sudoeste na área de estudo; a norte, nas áreas compreendidas das

freguesias de Carnide e Santa Clara; a sudeste, nas áreas compreendidas das freguesias de Beato, Marvila e Parque das Nações.

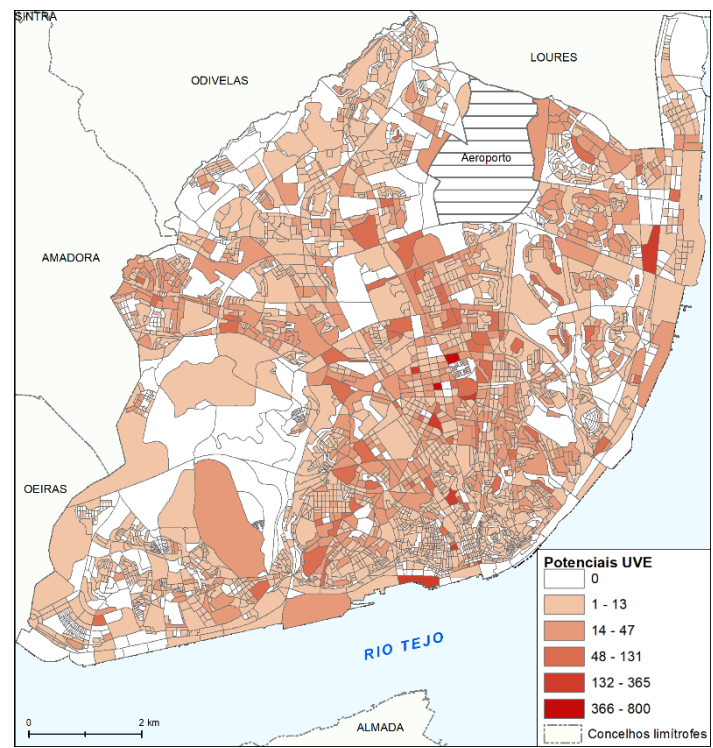


Figura 58 - Potenciais utilizadores de veículos elétricos por subsecção estatística na área de estudo.

Como tem vindo a ser referido, a informação agregada ao nível da freguesia permite a identificação de áreas de concentração mais abrangentes, sendo observável na Figura 59.

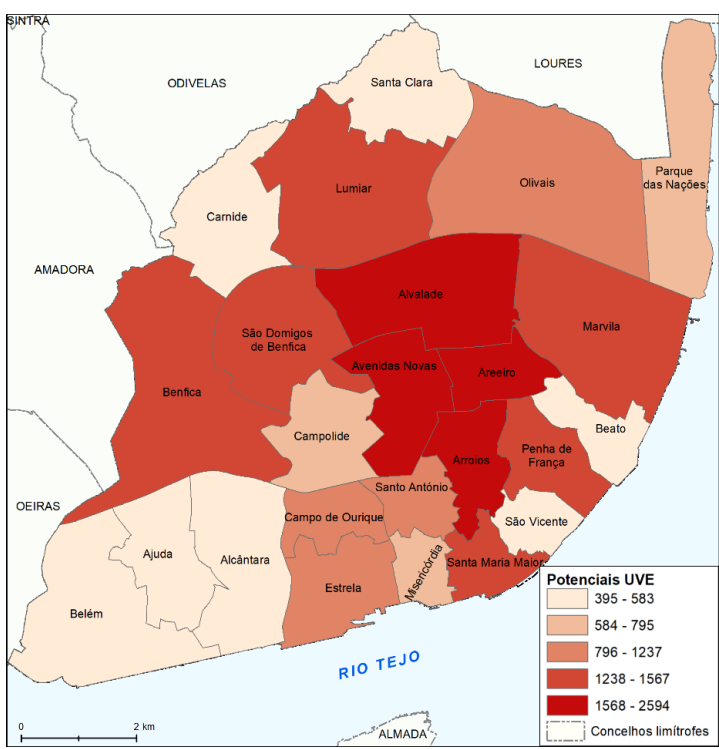


Figura 59 – Potenciais utilizadores de veículos elétricos por freguesia na área de estudo.

As freguesias de Avenidas Novas, Arroios, Alvalade e Areeiro apresentam os valores mais elevados, acima de 2000 potenciais utilizadores por cada, concentrando 33% do número total de potenciais utilizadores. Juntando as freguesias de Marvila, Benfica e Santa Maria Maior à anteriores, obtém-se a concentração de 50% dos potenciais utilizadores, em cerca de 35% da área de estudo (30 km²). As freguesias que apresentam um menor número de potenciais utilizadores, abaixo de 583, juntas representam apenas 12% do número total de potenciais utilizadores e 26% da área de estudo. São elas Beato, Santa Clara, Carnide, Ajuda, São Vicente, Belém e Alcântara.

Em relação à distribuição dos postos de carregamento resultantes de todas as metodologias, isto é, postos de carregamento normal nas áreas de residência e nas áreas de trabalho e postos de carregamento rápido, pode ser observada a Figura 60. No total foram colocados 4043 postos de carregamento (8086 tomadas), dos quais 40 são postos de carregamento rápido, relativamente dispersos na área de estudo. Dos 133 postos de carregamento normal da rede Mobi.E existentes atualmente, apenas 26 foram escolhidos. Em termos de crescimento, o número de postos de carregamento normal definidos neste modelo representa um crescimento de cerca de 2010% face ao número atual de postos e o número de postos de carregamento rápido um crescimento de 1900% face ao número atual de postos de carregamento rápido. Do número total de potenciais UVE, 1204 (4%) não foram associados aos 4003 postos de carregamento normal, por questões já explicadas, relacionadas com capacidade dos postos e com a distância a que o potencial utilizador se encontra dos mesmos.

Dos 4003 postos de carregamento normal, cerca de 75% dizem respeito às áreas de residência, ou seja, estão destinados a uma utilização num contexto de *Sleep&charge*, enquanto que os restantes 25% dizem respeito a postos de carregamento nas áreas de trabalho e, portanto, num contexto de carregamento *Work&charge*. Observa-se uma maior presença de ambos os tipos de postos de carregamento normal na área central, com continuidade para norte, no entanto, nas restantes áreas a presença de postos de carregamento para o contexto de *Sleep&charge* é muito maior.

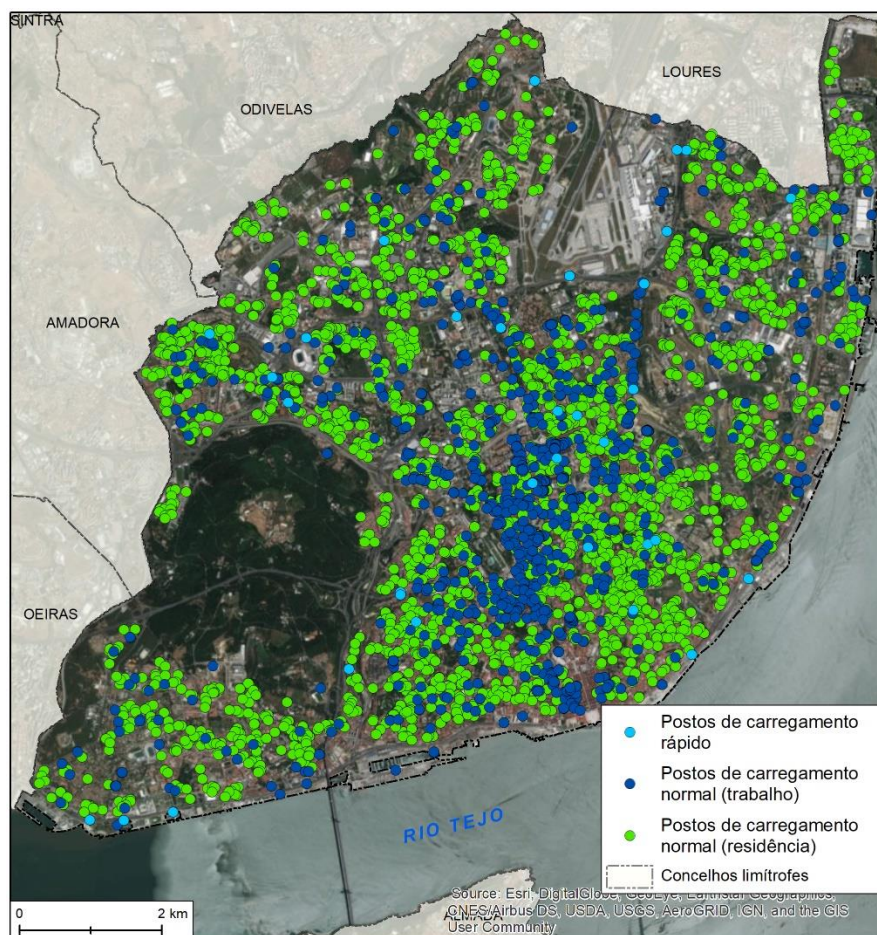


Figura 60 - Distribuição dos postos de carregamento normal e carregamento rápido na área de estudo.

Essa questão é clarificada aquando da segmentação da área de estudo de acordo com o contexto de carregamento (Figura 61). As freguesias da área central, nomeadamente Santo António e Santa Maria Maior, bem como Avenidas Novas, são as únicas em que a maioria dos postos de carregamento normal são do tipo *Work&charge*, concentrando cerca de 15% (580) do número total de postos de carregamento normal, dos quais 53% são no contexto de *Work&charge*. Este resultado assemelha-se à análise efetuada entre a estimativa de BEV ligeiros registados em empresas e particulares, o que poderá ser um indicador de validação, embora outras freguesias identificadas nessa análise não correspondam a este resultado. No entanto, relembra-se que os postos de carregamento normal para as áreas de trabalho têm o dobro da capacidade dos postos para as áreas de residência. Nesse sentido, considerando o número de potenciais utilizadores, conclui-se que, além das referidas anteriormente, as freguesias de Areeiro e Misericórdia concentram mais empregados potenciais UVE do que residentes potenciais UVE, sendo que a percentagem dos primeiros no número total de potenciais UVE dessas freguesias (8023) é de 64%. A necessidade de postos de carregamento nas áreas de residência é muito maior porque a capacidade é menor, daí a diferenças entre a segmentação com base no número de potenciais utilizadores e a segmentação com base no número de postos de carregamento normal.

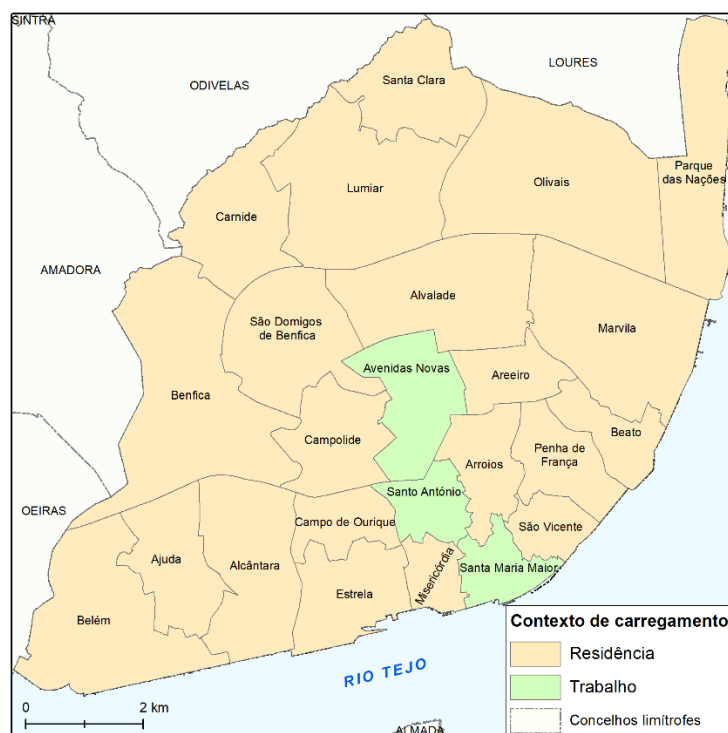


Figura 61 - Segmentação da área de estudo por contexto de carregamento mais utilizado.

A distribuição dos postos de carregamento normal por subsecção estatística (Figura 62) segue, naturalmente, a distribuição de potenciais UVE. Em média, há cerca de 2 postos de carregamento normal por subsecção estatística, 1 posto de carregamento por subsecção se se contar com aquelas onde não há postos de carregamento. Essas áreas são, ao todo, cerca de 50% do número total de subsecções, totalizando cerca de 40 km² (46%) na área de estudo, um número maior que no caso dos potenciais utilizadores, dado que, como foi explicado, os potenciais utilizadores podem não efetuar o carregamento do VE na área de subsecção onde estão localizados, sendo 905 (25%) as subsecções estatísticas que apresentam casos desses. Cerca de 36% das subsecções estatísticas (29% da área de estudo) apresentam um número de postos de carregamento normal igual ou inferior à média (86% das subsecções contando com aquelas onde não estão localizados postos de carregamento), concentrando 1725 postos (43%). Isto significa que 14% das subsecções concentram 57% dos postos de carregamento normal.

Agregando os postos de carregamento normal ao nível da freguesia (Figura 63), conclui-se que o padrão difere um pouco do padrão da distribuição dos potenciais utilizadores. As freguesias Alvalade, Avenidas Novas e Arroios, apresentam os valores mais elevados, concentrando 24% do total de postos de carregamento normal. Neste caso, a distribuição pelo território está ligeiramente mais bem dividida entre as freguesias, sendo que, contando com as freguesias Marvila, Lumiar, Olivais, Benfica e São Domingos de Benfica, obtém-se a divisão de 50% do território. Nota-se, nessa divisão, o peso dos postos de carregamento normal nas áreas residenciais, na seleção das freguesias fora da área central.

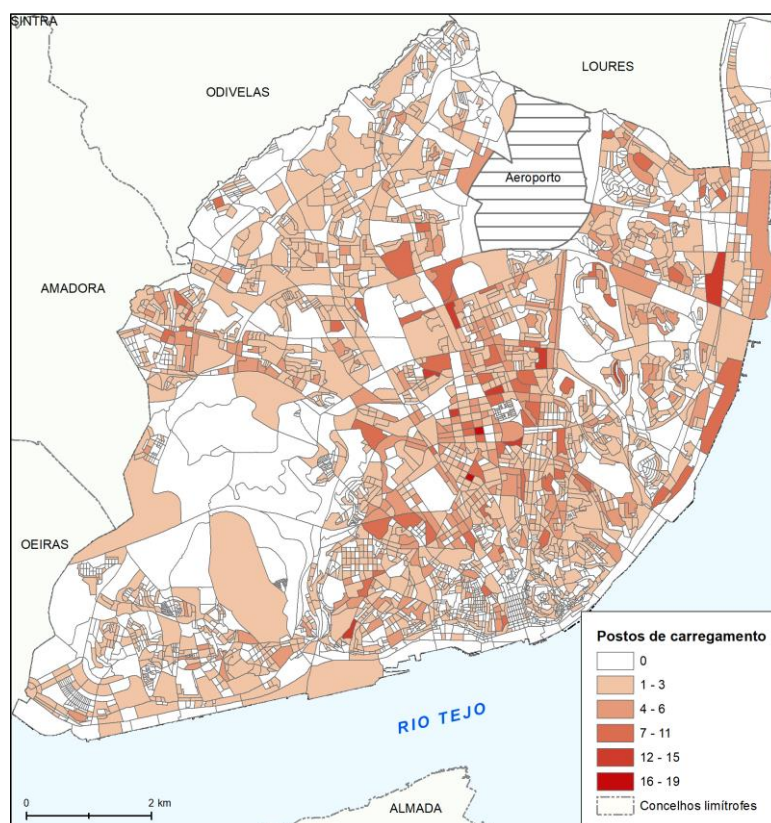


Figura 62 - Postos de carregamento normal resultantes dos modelos, por subsecção estatística na área de estudo.

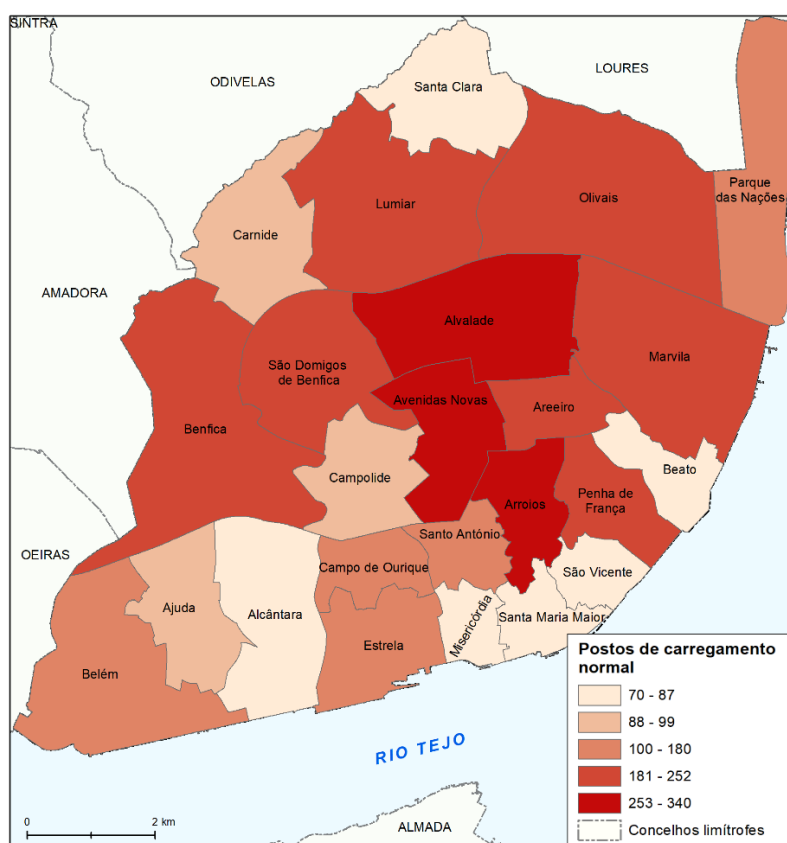


Figura 63 - Postos de carregamento normal resultantes dos modelos, por freguesia na área de estudo.

A área central, delimitada no contexto desta dissertação para uma melhor descrição dos dados, concentra 54% dos potenciais utilizadores (44% dos residentes potenciais UVE e 74% dos empregados potenciais UVE) e 45% dos postos de carregamento normal (40% dos postos das áreas de residência e 62% dos postos das áreas de trabalho). Acerca dos postos de carregamento rápido, por ser um local com elevada concentração de potenciais UVE, dos 11 postos instalados nesta área 7 foram colocados nesse contexto, correspondendo a 63% do total de postos de carregamento rápido localizados em locais de concentração de potenciais UVE (contrariamente aos 14% dos postos instalados na rede viária principal e de tráfego na mesma área).

6. Conclusões

Os postos de carregamento, e o pressuposto planeamento, constituem um elemento crucial para o desenvolvimento da mobilidade elétrica ao fornecerem a energia elétrica aos veículos elétricos. Há, assim, uma necessidade urgente de construir e planear estrategicamente essas infraestruturas, para servir e potenciar a procura, principalmente em áreas urbanas onde a possibilidade de realizar carregamento privado é reduzida. A rede deve ter em conta a informação dos utilizadores ou, quando planeada para potenciar a procura, dos potenciais utilizadores. Atualmente, o carregamento nos locais de residência segue o padrão de elevada utilização noturna, normalmente com um posto de carregamento a ser utilizado por um único veículo elétrico, ao contrário do carregamento nos locais de trabalho, que apresenta um padrão diurno, em que normalmente um posto de carregamento serve mais que um veículo nesse período. Na maioria dos estudos de caracterização, os carregamentos dos veículos elétricos são iniciados com autonomia superior a 50%, passando a mensagem de que as autonomias dos veículos satisfazem totalmente as necessidades gerais dos utilizadores, com a maioria a terminar as suas viagens diárias com autonomia remanescente. Tipicamente os utilizadores necessitam de recarregar as baterias entre 2 a 3 dias e escolhem a conveniência do carregamento doméstico ou trabalho em 85% dos carregamentos.

Assim, neste estudo, o problema do planeamento de postos de carregamento foi entendido como um problema de localização-alocação, à semelhança da maioria dos estudos. No entanto, também foram utilizadas outras metodologias, combinadas com SIG, que, no global, revelaram ser bastante úteis, resultando numa metodologia concisa e bastante completa por combinar análise de redes com abordagens matemáticas e análise espacial qualitativa. Este problema, para o concelho de Lisboa, foi realizado a uma escala menor do que a adequada, uma vez que a definição da localização específica dos postos de carregamento deverá ser realizada com elevado pormenor. Adicionalmente, o desconhecimento da localização específica dos potenciais utilizadores é algo que poderá influenciar os resultados, uma vez que a localização dos mesmos, à semelhança da localização dos postos, é um dos fatores importantes do modelo de localização-alocação. Nesse sentido, a metodologia adequa-se totalmente a situações onde a procura é conhecida.

No concelho de Lisboa, e tendo em conta a caracterização do utilizador atual, foram identificados cerca de 28 mil potenciais utilizadores, dos quais cerca de 19 mil são residentes potenciais utilizadores e cerca de 9 mil são empregados potenciais utilizadores, com base nos quais, aplicando a metodologia para a estruturação da rede ótima de postos de carregamento, resultaram cerca de 4 mil postos de carregamento normal. 75% desses postos estão associados a um contexto de *Sleep&Charge* e os restantes a um contexto de *Work&charge*, sendo que cerca

de 4% dos potenciais utilizadores não foram alocados, devido à distância a que se encontravam dos postos mas também à falta de capacidade dos postos próximos da sua localização, como se viu nos resultados dos modelos representativos da evolução. A diferença entre os postos de carregamento para cada contexto é maior do que a diferença entre os respetivos potenciais utilizadores porque a necessidade de postos de carregamento nas áreas de residência é maior, dado a capacidade ser menor, relacionando com o período noturno e diurno de carregamento. Dos postos de carregamento já existentes, instalados no âmbito da rede Mobi.E, apenas cerca de 20% tiveram utilizadores alocados, podendo isto ter relação com o facto de a maioria desses postos de carregamento terem sido instalados em locais públicos de turismo e lazer. Em comparação com o número atual de postos de carregamento normal existentes na área de estudo, o resultado representa um crescimento de 2010%.

Dado que o modelo é realizado através da rede viária, tendo em conta a localização dos residentes e dos empregados potenciais utilizadores e o custo, distância-tempo, permite que as alocações sejam realizadas em função da conectividade, capacidade e da distância/custo, tornando os resultados bastante realistas. A nível geral, a área central apresenta uma elevada concentração de postos de carregamento normal dos dois tipos, sendo que nas restantes áreas é maior a presença de postos de carregamento normal para o contexto *Sleep&charge*. Apenas 6% da área de estudo apresenta uma maioria de postos de carregamento de contexto *Work&charge*, seguindo a distribuição dos potenciais utilizadores. Os postos de carregamento rápido foram gerados através de uma metodologia mais simples, tendo sido localizados nos postos de combustível já existentes. Não envolvendo modelação, a seleção teve como base o contexto de carregamento em viagem e o carregamento de emergência, aproximando os postos à rede viária principal e aos locais com elevada densidade de potenciais utilizadores. Apesar da simplicidade da metodologia, os resultados foram satisfatórios, tendo em conta a bibliografia, em termos de distribuição e em termos de número (42 postos de carregamento rápido), uma vez que estes postos são utilizados por vários veículos durante o dia.

O planeamento de postos de carregamento de veículos elétricos não é algo estático, principalmente nas primeiras fases de desenvolvimento, estando dependente da evolução de todas as questões relacionadas com a Mobilidade Elétrica. Essa questão foi facilmente comprovada aquando da realização de vários modelos diferenciando a capacidade (número de utilizadores que um posto consegue servir sem constrangimentos) de acordo com as diferenças tecnológicas e de comportamento do utilizador, considerando o mesmo número e localização dos potenciais utilizadores e postos de carregamento candidatos entre os mesmos. O resultado explicita que ao aumentar a autonomia dos veículos, bem como se o utilizador tiver um comportamento de máximo aproveitamento da autonomia do seu veículo, a necessidade de postos é menor, alterando a distribuição dos postos pelo território. Pode afirmar-se que o planeamento de postos de

carregamento na fase inicial da mobilidade elétrica pode ser um risco, dado que neste momento, em que as baterias ainda não atingiram um nível estável de desenvolvimento e os consumidores, na generalidade, estão pouco adaptados ao veículo elétrico (face ao veículo convencional), a necessidade de postos de carregamento é muito maior, podendo resultar num investimento perdido. Nesse sentido, este caso de estudo, apesar de ter em conta potenciais utilizadores, isto é, indivíduos que têm mais probabilidade de virem a ser utilizadores, considera, nos seus modelos principais, informação acerca do comportamento e tecnologia atuais, o que poderá ser considerado uma incongruência, mas como foi referido no enquadramento teórico, há alguma incerteza quanto à evolução tecnológica dos veículos, sendo difícil prevê-la, e por consequência integrá-la.

As diferenças entre modelos também são indicativas que a abordagem perante o planeamento de postos de carregamento, de redução de custos ou de melhor conforto para o utilizador, por exemplo, também é influenciadora dos resultados. Ainda assim, os resultados dos modelos indicam que, mesmo não dando uma margem de erro à capacidade dos postos para que a quantidade de postos de carregamento escolhidos fosse a mínima possível tendo em conta os parâmetros, os potenciais utilizadores percorreram em média uma distância bastante confortável (80/100 m, menos de 2 minutos), comprovando a sua eficiência em número e distribuição, apesar da existência de potenciais utilizadores não alocados.

Para este estudo ficar mais completo, algo interessante a realizar será a aplicação de um modelo considerando todos os potenciais utilizadores, combinando assim períodos diários, tendo em conta que as utilizações nesses contextos ocorrem em períodos diários diferentes. Dessa forma poder-se-iam comparar as abordagens, tanto a nível de custos, minimizando a oferta, como a nível de conforto de utilização por parte dos utilizadores, verificando também as diferenças na distribuição pelo território. Além disso, a estruturação de uma rede para servir os visitantes do concelho, em locais públicos de turismo e lazer, bem como em áreas comerciais seria também algo a concretizar, completando a rede para servir todos os contextos de carregamento.

Em conclusão, os objetivos foram alcançados, sendo possível a criação de uma rede ótima de postos de carregamento em termos de número mínimo de postos para colmatar a procura e ainda assim ser confortável para o utilizador em termos de distância-custo através da metodologia aplicada. As principais limitações deveram-se à inexistência de dados adequados, como as localizações exatas, informação acerca dos rendimentos da população e informação que permitisse caracterizar os empregados. Esta dissertação oferece duas contribuições importantes para a mobilidade elétrica, nomeadamente a metodologia para identificação de potenciais utilizadores e a metodologia para estruturação da rede ótima de postos de carregamento.

Bibliografia

- Adirondack & Glens Falls Transportation Council. (2015). *Electric Vehicle Charging Station Location Analysis*.
- Agência Portuguesa do Ambiente. (sem data). Mitigação. Disponível a 31 de Janeiro de 2018, em <https://www.apambiente.pt/index.php?ref=16&subref=81&sub2ref=117>
- Agência Portuguesa do Ambiente. (2017). *Inventário Nacional de Emissões Atmosféricas (NIR 2017 – emissões 2015)*. Amadora.
- Agência Portuguesa para o Ambiente (APA), & Comité Executivo da Comissão para as Alterações Climáticas. (2012). *Roteiro Nacional de Baixo Carbono 2050 - Análise técnica das opções de transição para uma economia de baixo carbono competitiva em 2050*.
- Åhman, M. (2006). Government policy and the development of electric vehicles in Japan. *Energy Policy*, 34(4), 433–443. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2004.06.011>
- Ahn, Y., & Yeo, H. (2015). An Analytical Planning Model to Estimate the Optimal Density of Charging Stations for Electric Vehicles. *PLoS ONE*, 10(11), 1–26. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141307>
- Ajanovic, A. (2013). Recent Developments in Electric Vehicles for Passenger Car Transport, 7(3), 136–140.
- Ajanovic, A. (2014). Promoting environmentally benign electric vehicles. *Energy Procedia*, 57, 807–816. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.10.289>
- Ajanovic, A. (2015). “The future of electric vehicles: prospects and impediments”, *WIREs Energy Environ*, 4, p.523.
- Ajanovic, A., & Haas, R. (2015). Driving with the sun: Why environmentally benign electric vehicles must plug in at renewables. *Solar Energy*, 121, 169–180. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2015.07.041>
- Ajanovic, A., & Haas, R. (2016). Dissemination of electric vehicles in urban areas: Major factors for success. *Energy*, 115, 1451–1458. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2016.05.040>
- Alonso, J. A., & Lamata, M. T. (2006). Consistency in the analytic hierarchy process: a new approach. *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, 14(4), pp. 445–459. Disponível em <http://www.worldscientific.com/doi/abs/10.1142/S0218488506004114>
- Altenburg, T. (2014). *From Combustion Engines to Electric Vehicles - A Study of Technological Path Creation and Disruption in Germany*. Bonn, Germany. Disponível em https://www.die-gdi.de/uploads/media/DP_29.2014.pdf
- Associação Automóvel de Portugal, & Auto Informa. (2017). *Estatísticas do Sector Automóvel - edição 2016*. Lisboa.
- Augenstein, K. (2015). Analysing the potential for sustainable e-mobility - The case of Germany. *Environmental Innovation and Societal Transitions*, 14, 101–115. <https://doi.org/10.1016/j.eist.2014.05.002>
- Axsen, J., Goldberg, S., & Bailey, J. (2016). How might potential future plug-in electric vehicle buyers differ from current «Pioneer» owners? *Transportation Research Part D: Transport and Environment*, 47, 357–370. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2016.05.015>
- Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion. (2014). *Electric Vehicles Public Charging Stations*,

Infrastructures and New Functions Associated Expansion Plan. Málaga, Espanha.

- Azadfar, E., Sreeram, V., & Harries, D. (2015). The investigation of the major factors influencing plug-in electric vehicle driving patterns and charging behaviour. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 42, 1065–1076. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.10.058>
- Balsa, J. M. R. (2013). *Avaliação do impacto da introdução de veículos elétricos na procura de combustíveis em Portugal*. Dissertação de Mestrado em Gestão, apresentada à Faculdade de Economia da Universidade de Coimbra para obtenção do grau de Mestre. Faculdade de Economia, Universidade de Coimbra, Portugal.
- Berkeley, N., Bailey, D., Jones, A., & Jarvis, D. (2017). Assessing the transition towards Battery Electric Vehicles: A Multi-Level Perspective on drivers of, and barriers to, take up. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 106, 320–332. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2017.10.004>
- Brito, J. (2012). *Caracterização da flutuação do tráfego na cidade de Lisboa*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Engenharia Civil – Perfil Construção. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.
- Buzai, G. (2013). Location - allocation models applied to urban public services. Spatial analysis of Primary Health Care Centers in the city of Luján, Argentina. *Hungarian Geographical Bulletin*, 62(4), 387–408. Disponível em http://www.mtafk.hu/konyvtar/kiadv/HunGeoBull2013/HunGeoBull_2013_4_387-408.pdf
- Byrne, C., & Pedro, P. (2016). *Vencer o desafio da Mobilidade Elétrica em Portugal*. Plataforma para o Crescimento Sustentável. Disponível em http://www.crescimentosustentavel.org/media/Vencer_desafio_mobilidade_eletrica.pdf
- Câmara Municipal de Lisboa. (2012). *Relatório de Caracterização síntese - Plano Diretor Municipal de Lisboa*.
- Campbell, A. R., Ryley, T., & Thring, R. (2012). Identifying the early adopters of alternative fuel vehicles : A case study of Birmingham , United Kingdom. *Transportation Research Part A*, 46(8), 1318–1327. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2012.05.004>
- Caviedes, A., Williams, S., & Jiang, Y. (sem data). *Using GIS to Find Suitable Locations for Electric Vehicle Charging Stations in Portland, Oregon*. Portland.
- Chan, C. C. (2013). The rise & Fall of electric vehicles in 1828-1930: Lessons learned. *Proceedings of the IEEE*, 101(1), 206–212. <https://doi.org/10.1109/JPROC.2012.2228370>
- Chen, T. D., Kockelman, K. M., & Khan, M. (2013). The electric vehicle charging station location problem: a parking-based assignment method for seattle. *Transportation Research Record*, 28–36.
- Chovan, T., & Straka, M. (2015). Layout and design of electromobile charging stations as urban elements. *Acta Logistica - International Scientific Journal about Logistics*, 2(4), 7–12.
- Comissão Europeia. Livro Branco - Roteiro do espaço único europeu dos transportes – Rumo a um sistema de transportes competitivo e económico em recurso (2011). Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia. Roteiro de transição para uma economia hipocarbónica competitiva em 2050 (2011). Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia. (2014). DIRETIVA 2014/94/UE DO PARLAMENTO EUROPEU E DO CONSELHO de 22 de outubro de 2014 relativa à criação de uma infraestrutura para combustíveis alternativos. *Jornal Oficial da União Europeia*, 307(Outubro), 1–20.
- Comissão Europeia. Estratégia Europeia de Mobilidade Hipocarbónica (2016). Bruxelas, Bélgica.

- Comissão Europeia. Regulation 2017/0293 of the European Parliament and of the Council (2017). Bruxelas, Bélgica.
- Comissão Europeia. Uma agenda para uma transição socialmente justa para uma mobilidade ecológica, competitiva e conectada para todos (2017). Bruxelas, Bélgica.
- Corchero, C. (2015). European electric vehicle fleet: Driving and charging data analysis. *2014 IEEE International Electric Vehicle Conference, IEVC 2014*, (Figure 1). <https://doi.org/10.1109/IEVC.2014.7056144>
- Costa, T. I. da. (2014). *Estratégia De Localização Dos Postos De Carregamento Para o Veículo Elétrico - O Caso Da Cidade Do Porto*. Dissertação de mestrado apresentada à Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em engenharia civil. Faculdade de Engenharia, Universidade do Porto.
- Costa, E., Paiva, A., Seixas, J., Baptista, P., Costa, G., & Gallachóir, B. Ó. (2017). The Best Location for Charging Infrastructure of Electric Vehicles in Belo Horizonte, Brazil. *Proceedings of the ITRN2017*.
- Daniel Chang, Daniel Erstad, Ellen Lin, Alicia Falken Rice, Chia Tzun Goh, An-An, ... Jason Snyder. (2012). *Financial Viability Of Non-Residential Electric Vehicle Charging Stations*. Los Angeles, Califórnia. <https://doi.org/http://luskin.ucla.edu/sites/default/files/Non-Residential%20Charging%20Stations.pdf>
- Decreto Legislativo Regional n.º 5/2017/M de 2 de março. *Diário da República N.º 44 – I Série*. Assembleia Legislativa da Região Autónoma da Madeira.
- Decreto-Lei n.º 170/2012 de 1 de agosto. *Diário da República N.º 148 – I Série*. Governo. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 39/2010 de 26 de abril. *Diário da República N.º 80 – I Série*. Ministério da Economia, da Inovação e do Desenvolvimento. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 4/2018 de 2 de fevereiro. *Diário da República N.º 224 – I Série*. Assembleia da República. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º 60/2017 de 9 de junho. *Diário da República N.º 112 – I Série*. Governo. Lisboa.
- Decreto-Lei n.º. 90/2014 de 11 de junho. *Diário da República N.º 111 – I Série*. Ministério do Ambiente,
- Decreto-Lei n.º.42-A/2016 de 12 de agosto. *Diário da República N.º115 – I Série*. Ambiente. Lisboa.
- Deffke, U. (2013). *Electric Mobility - Rethinking the Car*. Federal Ministry of Education and Research (BMBF). Rostock, Alemanha.
- Deloitte. (2011). Unplugged: Electric vehicle realities versus consumer expectations, 32.
- Departamento de Planeamento Urbano. (2009). *Relatório do Estado do Ordenamento do Território - REOT*. Lisboa. Disponível em http://www.cm-lisboa.pt/fileadmin/VIVER/Urbanismo/urbanismo/planeamento/pdm/docs/revisao/estudos/01_REOT.pdf
- Despacho n.º 8809/2015 de 10 de agosto. *Diário da República N.º 154 – II Série*. Ministério do Ambiente, Ordenamento do Território e Energia. Lisboa.
- Department of Transport. (2013). *Creating a Market: Victorian electric vehicle trial mid-term report*. Victorian, Australia. Disponível em <http://economicdevelopment.vic.gov.au/transport/rail-and-roads/roads/electric-vehicle-trial>

- DGEG. (sem data). Caracterização energética nacional. Disponível a 29 de Janeiro de 2018, em <http://www.dgeg.gov.pt/>
- Dijk, M., Orsato, R. J., & Kemp, R. (2013). The emergence of an electric mobility trajectory. *Energy Policy*, 52(January), 135–145. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.024>
- Drye, K., & Barrett, E. (2014). *Town of Cary Electric Vehicle Charging Station Pilot Project Analysis*. Town of Cary, Estados Unidos da América.
- Ehring, M., & Witteveen, J. (2017). *Breakthrough of electric vehicle threatens European car industry*. ING Economics Department. Disponível em https://www.ing.nl/media/ING_EBZ_breakthrough-of-electric-vehicle-threatens-European-car-industry_tcm162-128687.pdf
- Elbanhawy, E., & Dalton, R. C. (2015). Spatiotemporal analysis of the e-mobility system in Newcastle-Gateshead area. Em *Proceedings of the 10th International Space Syntax Symposium* (pp. 1–15). London, United Kingdom.
- European Alternative Fuels Observatory. (2018). PEV new registrations in Portugal. Disponível a 22 de Maio de 2018, em <http://www.eafo.eu/content/portugal>
- European Environment Agency. (2015). *Transport - SOER 2015 European briefings*.
- European Environment Agency. (2016). *Electric Vehicles in Europe*. Copenhagen, Dinamarca. <https://doi.org/10.2800/100230>
- European Environment Agency. (2017). *Air quality in Europe — 2017 report*. Copenhagen, Dinamarca.
- Figenbaum, E., & Kolbenstvedt, M. (2015). *Competitive Electric Town Transport: Main results from COMPETT – an Electromobility+ project*. Institute of Transport Economics. Oslo, Noruega. Disponível em <https://www.toi.no/getfile.php?mmfileid=41196>
- Figenbaum, E., Kolbenstvedt, M., & Elvebakk, B. (2014). *Electric vehicles - environmental , economic and practical aspects - as seen by current and potential users*. Disponível em https://www.toi.no/getfile.php/Publikasjoner/TØI_rapporter/2014/1329-2014/1329-2014-el.pdf
- Font, R., Brusaglino, G., & Van den Bossche, P. (2015). *Roadmap for the deployment of the Electric Vehicle Charging Infrastructure*. EV Connect Project.
- Frade, I., Ribeiro, A., Gonçalves, G., & Antunes, A. P. (2012). Optimal Location of Charging Stations for Electric Vehicles in a Neighborhood in Lisbon, Portugal. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2252(1), 91–98. <https://doi.org/10.3141/2252-12>
- Franke, T., & Krems, J. F. (2013). Understanding charging behaviour of electric vehicle users. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 21, 75–89. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2013.09.002>
- Funke, S. Á., Gnann, T., & Plotz, P. (2015). Addressing the Different Needs for Charging Infrastructure: An Analysis of Some Criteria for Charging Infrastructure Set-up. Em W. L. Filho & R. Kotter (Eds.), *E-Mobility in Europe, Green Energy and Technology* (pp. 73–90). Karlsruhe, Alemanha. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-13194-8>
- Gao, Y., & Guo, Y. (2013). Optimal Planning of Charging Station for Phased Electric Vehicle. *Energy and Power Engineering*, 05(04), 1393–1397. <https://doi.org/10.4236/epe.2013.54B264>
- Gkatzoflias, D., Drossinos, Y., Zubaryeva, A., Zambelli, P., Dilara, P., Thiel, C., ... Joint Research Centre. (2016). *Optimal allocation of electric vehicle charging infrastructure in*

- cities and regions*. European Union. <https://doi.org/10.2790/353572>
- Grauers, A., Sarasini, S., & Karlstrom, M. (2013). Why Electromobility and What Is It ? (pp. 10–21). Gotemburgo, Suécia.
- Greenbaum, D. S. (2013). Sources of air pollution: gasoline and diesel engines. Em K. Straif, A. Cohen, & J. Samet (Eds.), *Air Pollution and Cancer* (pp. 46–62). França.
- Greene, D. L., Park, S., & Liu, C. (2014). *Transitioning to Electric Drive Vehicles : Public Policy Implications of Uncertainty , Network Externalities , Tipping Points and Imperfect Markets*. The Howard H. Baker Jr Center for Public Policy. White Paper 1:14.
- Hall, D., Cui, H., & Lutsey, N. (2017). Electric vehicle capitals of the world: What markets are leading the transition to electric? *The International Council on Clean Transportation (ICCT)*. Disponível em http://theicct.org/sites/default/files/publications/World-EV-capitals_ICCT-Briefing_08112017_vF.pdf
- Hall, D., Moultak, M., & Lutsey, N. (2017). Electric vehicle capitals of the world: Demonstrating the path to electric drive. *The International Council on Clean Transportation (ICCT)*. Disponível em www.theicct.org
- Haugneland, P., & Kvisle, H. H. (2013). Norwegian electric car user experiences. *EVS27 - International Battery, Hybrid and Fuel Cell Electric Vehicle Symposium*. <https://doi.org/10.1109/EVS.2013.6914775>
- Hjorthol, R. (2013). *Attitudes, ownership and use of Electric Vehicles – a review of literature*. Oslo, Noruega. Disponível em http://www.compett.org/documents/wp_2_report_attitudes_ownership_and_use_of_electric_vehicles_a_review_of_literature.pdf
- Hosts, S. (2012). *Plug-In Electric Vehicle Handbook for Public Charging*.
- Hydro-Québec. (2015). *Electric Vehicle Charging Stations - Technical Installation Guide*. Disponível em <http://www.hydroquebec.com/data/electrification-transport/pdf/technical-guide.pdf>
- ICCT. (2015). Policies To Reduce Fuel Consumption, Air Pollution, and Carbon Emissions From Vehicles in G20 Nations. *ICCT - International Council on Clean Transportation*.
- Idaho National Laboratory. (2014a). *EV Project Electric Vehicle Charging Infrastructure Summary Report*.
- Idaho National Laboratory. (2014b). *EV Project Electric Vehicle Charging Infrastructure Summary Report*.
- Idaho National Laboratory. (2014c). *EV Project Electric Vehicle Charging Infrastructure Summary Report*. Disponível em <https://avt.inl.gov/sites/default/files/pdf/EVProj/EVProjectInfrastructureReportJan13Dec13.pdf>
- INE, Inquérito à Mobilidade nas Áreas Metropolitanas do Porto e de Lisboa, 2017
- International Energy Agency. (2016). Energy and Air Pollution. *World Energy Outlook - Special Report*, 266. <https://doi.org/10.1021/ac00256a010>
- International Energy Agency. (2017a). *Energy Technology Perspectives 2017 - Catalysing Energy Technology Transformations*. Energy. https://doi.org/10.1787/energy_tech-2017-en
- International Energy Agency. (2017b). Global EV Outlook 2017: Two million and counting. *IEA Publications*, 1–71. <https://doi.org/10.1787/9789264278882-en>

- Ioannides, D., & Wall-reinius, S. (2015). *Sustainable mobility in the periphery: Are electric vehicles the answer? Review of international literature on electric vehicles and ideas for further research*. Suécia.
- Islam, M. M., Shareef, H., & Mohamed, A. (2015). A Review of Techniques for Optimal Placement and Sizing of Electric Vehicle Charging Stations. *Przegląd Elektrotechniczny*, 1(8), 124–128. <https://doi.org/10.15199/48.2015.08.29>
- Jin, J. S. (2016). *Installing Public Electric Vehicle Charging Stations : A Site Suitability Analysis in Los Angeles County , California*. Universidade do Sul da California.
- Jing, W., Yan, Y., Kim, I., & Sarvi, M. (2016). Electric vehicles: A review of network modelling and future research needs. *Advances in Mechanical Engineering*, 8(1), 1–8. <https://doi.org/10.1177/1687814015627981>
- Kandukuri, Y. (2013). *A Dynamic GIS Model For Optimum Location Identification of Plug-in Electric Vehicle (PEV) Charging Stations*. (tese de mestrado). The Graduate Faculty, Universidade de Akron.
- Kanters, G. F. (2013). *Spatial modelling to allocate locations for public charging stations - Determining the locations of public charging station for the municipality of Eindhoven*. Eindhoven University of Technology.
- Kara, E. C., Macdonald, J. S., Black, D., Bérge, M., Hug, G., & Kiliccote, S. (2015). Estimating the benefits of electric vehicle smart charging at non-residential locations: A data-driven approach. *Applied Energy*, 155, 515–525. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2015.05.072>
- Kasten, P., Bracker, J., Haller, M., & Purwanto, J. (2016). *Electric mobility in Europe – Future impact on the emissions and the energy systems*. Berlim, Alemanha.
- Kodjak, D. (2012). *Consumer Acceptance of Electric Vehicles in the US*. Washington DC, Estados Unidos da América.
- Larsson, F., Anderson, P., & Mellander, B.-E. (2014). Are Electric Vehicles Safer Than Combustion Engine Vehicles. Em B. Sandén & P. Wallgren (Eds.), *Systems Perspectives on Electromobility* (pp. 33–44). Gotemburgo, Suécia.
- Lei n.º 64-B/2011 de 30 de dezembro. Diário da República N.º 250 – I Série. Assembleia da República. Lisboa.
- Lebeau, K., Lebeau, P., Macharis, C., & Van Mierlo, J. (2013). How expensive are electric vehicles? A total cost of ownership analysis. *World Electric Vehicle Journal*, 6(4), 996–1007. <https://doi.org/10.1109/EVS.2013.6914972>
- Lindblad, L. (2012). *Deployment Methods for Electric Vehicle Infrastructure*. Universidade de Uppsala. Disponível em <http://uu.diva-portal.org/smash/record.jsf?pid=diva2:538789%5Cnhttp://uu.diva-portal.org/smash/get/diva2:538789/FULLTEXT01>
- Mayfield, D. (2012). *Site Design for Electric Vehicle Charging Stations*. Sustainable Transportation Strategies. Estados Unidos da América.
- McKinsey. (2014). Evolution - Electric Vehicles in Europe: gearing up for a new phase? *Amsterdam Roundtables Foundation and McKinsey & Company*, (20), 60. <https://doi.org/10.2800/100230>
- Messagie, M., Boureima, F. S., Coosemans, T., Macharis, C., & Mierlo, J. Van. (2014). A range-based vehicle life cycle assessment incorporating variability in the environmental assessment of different vehicle technologies and fuels. *Energies*, 7(3), 1467–1482. <https://doi.org/10.3390/en7031467>

- Ministério do Ambiente Ordenamento do Território e Energia. (2016). *Electric mobility - Moving from black fuel to green power*. Disponível em <http://www.crescimentoverde.gov.pt/wp-content/uploads/2014/10/PortugueseGreenMobility.pdf>
- Namdeo, A., Tiwary, A., & Dziurla, R. (2013). Spatial planning of public charging points using multi-dimensional analysis of early adopters of electric vehicles for a city region. *Technological Forecasting & Social Change*, 89, 188–200.
- Nascimento, T. C. (2013). Transição Tecnológica para Sustentabilidade: relações teóricas para uma análise multinível. *EnANPAD*, 1–16.
- Nemry, F., Leduc, G., & Muñoz, A. (2009). Plug-in Hybrid and Battery-Electric Vehicles: State of the research and development and comparative analysis of energy and cost efficiency. *Joint Research Centre*, 52. Disponível em <http://ipts.jrc.ec.europa.eu/publications/pub.cfm?id=2759>
- Nordelöf, A., Messagie, M., Tillman, A. M., Ljunggren Söderman, M., & Van Mierlo, J. (2014). Environmental impacts of hybrid, plug-in hybrid, and battery electric vehicles—what can we learn from life cycle assessment? *International Journal of Life Cycle Assessment*, 19(11), 1866–1890. <https://doi.org/10.1007/s11367-014-0788-0>
- Nordelöf, A., Messagie, M., & Van Mierlo, J. (2014). Less or Different Environmental Impact? Em B. Sandén & P. Wallgren (Eds.), *Systems Perspectives on Electromobility* (pp. 60–75). Gotemburgo, Suécia.
- Nykqvist, B., & Whitmarsh, L. (2008). A multi-level analysis of sustainable mobility transitions: Niche development in the UK and Sweden. *Technological Forecasting and Social Change*, 75(9), 1373–1387. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2008.05.006>
- O'Malley, S., Zubby, D., Moore, M., Paine, M., & Paine, D. (2015). Crashworthiness testing of electric and hybrid vehicles. *24th Enhanced Safety of Vehicles Conference*, (15-0318), 1–16. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Office for Low Emission Vehicles. (2013). *High level analysis of the Plugged-in Places chargepoint usage data*. Department for Transport. London, United Kingdom.
- Ou, S., Lin, Z., Wu, Z., Zheng, J., Lyu, R., Przesmitzki, S., & He, X. (2017). *A Study of China's Explosive Growth in the Plug-in Electric Vehicle Market*. Oak Ridge, Estados Unidos da América. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.32626.50886>
- Pereira, T. C., Seabra, T., Pina, A., Canaveira, P., Amaro, A., Borges, M., & Silva, R. (2017). *Portuguese National Inventory Report on Greenhouse Gases, 1990 - 2015*. Amadora, Portugal.
- Pereira, T. C., Silva, R., Amaro, A., Seabra, T., Pina, A., Borges, M., & Canaveira, P. (2017). *Emissões de Poluentes Atmosféricos por Concelho - 2015*. Amadora, Portugal. Disponível em https://www.apambiente.pt/_zdata/Inventario/2017/20170530/APA_Emissoes_Concelho_2015_site.pdf
- Philipsen, R., Schmidt, T., Van Heek, J., & Ziefle, M. (2016). Fast-charging station here, please! User criteria for electric vehicle fast-charging locations. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*, 40, 119–129. <https://doi.org/10.1016/j.trf.2016.04.013>
- Plotz, P., Schneider, U., Globisch, J., & Du'tschke, E. (2014). Who will buy electric vehicles? Identifying early adopters in Germany. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 67, 96–109. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2014.06.006>
- Pontes, J. (2013a). Europe full year 2012. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2013/02/europe-full-year-2012.html%0A>

- Pontes, J. (2013b). Japan December 2013. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2014/01/japan-december-2013.html%0A>
- Pontes, J. (2013c). USA Full Year 2012. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2013/01/usa-full-year-2012.html%0A>
- Pontes, J. (2014a). China December 2013. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2014/01/china-december-2013.html>
- Pontes, J. (2014b). Europe December 2013. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2014/01/europe-december-2013.html%0A>
- Pontes, J. (2014c). USA December 2013. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2014/01/usa-december-2013.html%0A>
- Pontes, J. (2015a). China December 2014. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2015/01/china-december-2014.html%0A>
- Pontes, J. (2015b). Europe December 2014. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2015/01/europe-december-2014.html%0A>
- Pontes, J. (2015c). Japan December 2014. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2015/01/japan-december-2014.html%0A>
- Pontes, J. (2015d). USA December 2014. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2015/01/usa-december-2014.html%0A>
- Pontes, J. (2016a). China December 2015. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2016/01/zotye-zhima-e30-new-contender-for-2016.html%0A>
- Pontes, J. (2016b). Europe December 2015. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2016/01/europe-december-2015.html%0A>
- Pontes, J. (2016c). Japan December 2015. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2016/02/japan-december-2015.html%0A>
- Pontes, J. (2016d). Japan December 2016. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2017/01/japan-december-2016.html%0A>
- Pontes, J. (2016e). USA December 2015. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2016/01/usa-december-2015.html%0A>
- Pontes, J. (2017a). China December 2016. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2017/01/china-december-2016.html%0A>
- Pontes, J. (2017b). Europe December 2016. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2017/01/europe-december-2016.html%0A>
- Pontes, J. (2017c). USA December 2016. Disponível a 17 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2017/01/usa-december-2016.html%0A>
- Pontes, J. (2018a). China December 2017. Disponível a 18 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2018/01/china-december-2017.html>
- Pontes, J. (2018b). Europe December 2017. Disponível a 29 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2018/01/europe-december-2017.html>
- Pontes, J. (2018c). USA December 2017. Disponível a 29 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2018/01/usa-december-2017.html>
- Pontes, J. (2018d). USA December 2017. Disponível a 18 de Janeiro de 2018, em <http://ev-sales.blogspot.pt/2018/01/usa-december-2017.html>

- Proposta de Lei n.º 100/XIII, 2017 – Orçamento de Estado para 2018. Presidência do Conselho de Ministros, Lisboa.
- Raposo, J., Rodrigues, A., Silva, C., & Dentinho, T. (sem data). Electric vehicles charging network: angra do heroísmo case study, (1), 1–32.
- Répubblica Portuguesa. (2017). Terceiro PNAEE | 2017 - 2020 30 de abril de 2017.
- Resolução do Conselho de Ministros 88/2017 de 26 de junho. Diário da República N.º 121 – I Série. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2009 de 20 de fevereiro. Diário da República N.º 36 – I Série. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 49/2016 de 1 de setembro. Diário da República N.º 168 – I Série. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 54/2015 de 28 de julho. Diário da República N.º 145 – I Série. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 81/2009 de 7 de Setembro. Diário da República, N.º 173 – I Série. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 20/2013 de 10 de abril. Diário da República N.º 70 – I Série. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 46/2016 de 26 de agosto. Diário da República N.º 164 – I Série. Lisboa.
- Resolução do Conselho de Ministros n.º 56/2015 de 30 de julho. Diário da República N.º 147 – I Série. Presidência do Conselho de Ministros. Lisboa.
- Ricardo, M. F. da C. (2012). *Contributo dos Sistemas de Informação Geográfica para a mobilidade elétrica: localização de áreas ótimas para Park&Ride, baseadas na rede do metro do Porto*. Dissertação de Mestrado em Gestão do Território na especialidade de Detecção Remota e Sistemas de Informação Geográfica. Faculdade de Ciências Sociais e Humanas, Universidade Nova de Lisboa.
- Robinson, A. P., Blythe, P. T., Bell, M. C., Hübner, Y., & Hill, G. A. (2013). Analysis of electric vehicle driver recharging demand profiles and subsequent impacts on the carbon content of electric vehicle trips. *Energy Policy*, 61, 337–348. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.05.074>
- Saaty, T. L. (1990), How to make a decision: The Analytic Hierarchy Process, *European Journal of Operational Research* 48 (1990) pp. 9-26.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International Journal of Services Sciences*, 1(1), 83. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saelee, S., & Horanont, T. (2016). Optimal Placement of EV Charging Station Considering the Road Traffic Volume and EV Running Distance. *Journal of Traffic and Logistics Engineering*, 4(1), 19–23. <https://doi.org/10.18178/jtle.4.1.19-23>
- Sandén, B., & Wallgren, P. (2014). *Systems Perspectives on Electromobility*. (B. Sandén & P. Wallgren, Eds.), *Systems perspectives on electromobility*. Gotemburgo, Suécia: Chalmers University of Technology. Disponível em <http://www.chalmers.se/en/areas-of-advance/energy/publications-media/systems-perspectives/Pages/default.aspx>
- Santos, D. S. B. dos. (2015). *Estudo para a Implementação de Infraestruturas de Carregamento de Veículos Elétricos*. Dissertação para obtenção do Grau de Mestre em Mestrado Integrado

em Engenharia do Ambiente, perfil de Engenharia de Sistemas Ambientais. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa.

- Schauble, J., Kaschub, T., Ensslen, A., Jochem, P., & Ensslen, A. (2017). *Generating electric vehicle load profiles of EV fleets in Southwest Germany*. Chair of Energy Economics, Karlsruhe Institute of Technology. Karlsruhe, Alemanha.
- Schroten, A. (2012). *Behavioural Climate Change Mitigation Options - Domain Report Transport*. Delft, Holanda.
- Shao-yun, G., Liang, F., Hong, L., & Long, W. (2012). The Planning of Electric Vehicle Charging Stations in the Urban Area. Em *2nd International Conference on Electronic & Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT-2012)* (pp. 1598–1604). Universidade de Tiajin. <https://doi.org/10.2991/emeit.2012.356>
- Shulock, C., Pike, E., Lloyd, A., & Rose, R. (2011). *Vehicle Electrification Policy Study. Task 4 Report: Complementary policies*. Washington DC, Estados Unidos da América.
- Sims, R., Schaeffer, R., Creutzig, F., Cruz-Núñez, X., D'Agosto, M., Dimitriu, D., ... Tiwari, G. (2014). Transport. Em E. Deakin & S. K. Ribeiro (Eds.), *Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change. Contribution of Working Group III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (pp. 599–670). Cambridge, RU e Nova Iorque, EUA.
- Singer, M. (2016). *Consumer Views on Plug-in Electric Vehicles – National Benchmark Report*. Golden, Estados Unidos da América.
- Soret, A., Guevara, M., & Baldasano, J. M. (2014). The potential impacts of electric vehicles on air quality in the urban areas of Barcelona and Madrid (Spain). *Atmospheric Environment*, 99(2), 51–63. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2014.09.048>
- Souloupoulos, N. (2017). When Will Electric Vehicles be Cheaper than Conventional Vehicles? *Bloomberg New Energy Finance*. Disponível em https://data.bloomberglp.com/bnef/sites/14/2017/06/BNEF_2017_04_12_EV-Price-Parity-Report.pdf
- Sprei, F., Macharis, C., Leveau, K., & Karlstrom, M. (2014). Policy Incentives for Market Introduction of Electric Vehicles. Em B. Sandén & P. Wallgren (Eds.), *Systems Perspectives on Electromobility* (pp. 150–160). Gotemburgo, Suécia: Chalmers University of Technology.
- Steinhilber, S., Wells, P., & Thankappan, S. (2013). Socio-technical inertia: Understanding the barriers to electric vehicles. *Energy Policy*, 60, 531–539. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2013.04.076>
- Straka, M., Bindzár, P., & Chovan, T. (sem data). Location and Layout of Charging Stations in Kosice for Needs of Electromobiles. *The International Journal of TRANSPORT & LOGISTICS*, 1–8.
- Tali, J. A., Malik, M. M., Divya, S., Nusrath, A., & Mahalingam, B. (2017). Location - Allocation model applied to urban public services: Spatial analysis of fire stations in Mysore urban area Karnataka, India, 2(5), 795–801.
- Timmers, V. R. J. H., & Achten, P. A. J. (2016). Non-exhaust PM emissions from electric vehicles. *Atmospheric Environment*, 134, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.03.017>
- TIPS LAB. (sem data). *Station Location Process - Level 2 Charging*.
- Transport and Environment. (2016). *Electric Vehicles in Europe - 2016 - Approaching*

- adolescence*. Bruxelas, Bélgica. <https://doi.org/10.2800/100230>
- Trigg, T., Telleen, P., Boyd, R., & Cuenot, F. (2013). Global EV Outlook: Understanding the Electric Vehicle Landscape to 2020. *Iea*, (April), 1–41. Disponível em <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/name-37024-en.html%5Cnhttp://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:Global+EV+Outlook:+Understanding+the+Electric+Vehicle+Landscape+to+2020#0>
- Van den Bossche, P. (2003). *Safety considerations for electric vehicles*. Bruxelas, Bélgica.
- Van Der Steen, M., Van Deventer, P., De Bruijn, H., Van Twist, M., Ten Heuvelhof, E., Haynes, K. E., & Chen, Z. (2012). Governing and innovation: The transition to E-mobility - A dutch perspective. *World Electric Vehicle Journal*, 5(1), 58–71.
- Vermont Energy Investment Corporation. (2014). *Electric Vehicle Charging Station Standards*. Vermont, Estados Unidos da América. Disponível em <http://www.electriccarpledge.com/electric-vehicle-resources/electric-vehicle-charging-station-standards/>
- Ward, G. M. (2016). *Ideal site selection of fast electrical vehicle charging stations within urban environments : A GIS-AHP approach*. (Dissertação de mestrado). Technische Universiteit, Eindhoven University of Technology.
- Wu, H., & Niu, D. (2017). Study on influence factors of electric vehicles charging station location based on ISM and FMICMAC. *Sustainability*, 9(4). <https://doi.org/10.3390/su9040484>
- Zhao, H., & Li, N. (2016). Optimal siting of charging stations for electric vehicles based on fuzzy Delphi and hybrid multi-criteria decision making approaches from an extended sustainability perspective. *Energies*, 9(4), 1–22. <https://doi.org/10.3390/en9040270>

Anexos

Quadro 15 - Critérios espaciais comuns para a generalidade dos postos de carregamento públicos

Critérios	Explicação	Autores
Segurança da área	O local deve reunir determinadas características como ser iluminado, para assegurar a segurança dos utilizadores.	(Kandukuri, 2013) (Philipsen et al., 2016) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (Funke et al., 2015) (Vermont Energy Investment Corporation, 2014) (Mayfield, 2012)
Visibilidade/ acessibilidade	Encoraja o seu uso pelos UVE (colmatado com a existência de direções). Local central	(Hydro-Québec, 2015) (Adirondack & Glens Falls Transportation Council, 2015) (TIPS LAB, sem data) (Funke et al., 2015) (Philipsen et al., 2016) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014)
Proximidade/ conectividade à rede de eletricidade/ subestações	Reduz os custos de instalação No caso dos postos rápidos requerem elevada potência de eletricidade	(Lindblad, 2012) (Adirondack & Glens Falls Transportation Council, 2015)/ (Ward, 2016) (Zhao & Li, 2016) (Vermont Energy Investment Corporation, 2014) (Mayfield, 2012) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (TIPS LAB, sem data) (Gkatzoflias et al., 2016)
Terreno nivelado	Preferência por terreno seja nivelado para facilitar o acesso a pessoas com mobilidade reduzida, por exemplo.	(Vermont Energy Investment Corporation, 2014) (Mayfield, 2012) (E. Costa et al., 2017)
Local livre de riscos/desprotegido ambientalmente	Por exemplo, é importante os postos situarem-se em áreas onde não há risco de inundação	(Vermont Energy Investment Corporation, 2014) (Hydro-Québec, 2015) (Mayfield, 2012) (Funke et al., 2015) (E. Costa et al., 2017) (Ward, 2016) (Zhao & Li, 2016)

Quadro 16 - Critérios espaciais comuns no caso dos postos de carregamento normal

Critérios	Explicação	Autores
Áreas residenciais sem garagem	Impossibilidade de realizar carregamento privado	(Lindblad, 2012) (Vermont Energy Investment Corporation, 2014) (T. I. da Costa, 2014) (Namdeo et al., 2013)
Proximidade às áreas de residência dos UVE/potenciais	<i>Sleep&charge</i> é o contexto de carregamento mais utilizado	(Lindblad, 2012) (Vermont Energy Investment Corporation, 2014), (Kanters, 2013) (Gao & Guo, 2013) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (Caviedes et al., sem data) (TIPS LAB, sem data) (Funke et al., 2015) (T. I. da Costa, 2014) (Gkatzoflias et al., 2016) (Zhao & Li, 2016) (Namdeo et al., 2013) (Jin, 2016) (E. Costa et al., 2017)
Proximidade às áreas de trabalho	<i>Work&charge</i> é o segundo contexto de carregamento mais utilizado	(Lindblad, 2012) (Vermont Energy Investment Corporation, 2014), (Kanters, 2013) (Adirondack & Glens Falls Transportation Council, 2015) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (TIPS LAB, sem data) (Funke et al., 2015) (E. Costa et al., 2017) (Straka, Bindzár, & Chovan, sem data) (Gkatzoflias et al., 2016) (Chen et al., 2013) (Zhao & Li, 2016) (Namdeo et al., 2013) (Kandukuri, 2013) (Hydro-Québec, 2015) (Raposo et al., sem data) (Jin, 2016)
Proximidade às áreas comerciais/ serviço/lazer	<i>Shop&charge</i> é outro contexto de carregamento	(Lindblad, 2012) (Vermont Energy Investment Corporation, 2014), (Kanters, 2013) (Adirondack & Glens Falls Transportation Council, 2015) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (TIPS LAB, sem data) (Funke et al., 2015) (E. Costa et al., 2017) (Straka et al., sem data) (Gkatzoflias et al., 2016) (Chen et al., 2013) (Namdeo et al., 2013) (Kandukuri, 2013) (Hydro-Québec, 2015) (Raposo et al., sem data) (Jin, 2016)

Locais de estacionamento	O carregamento requer estacionamento	(Lindblad, 2012) (Vermont Energy Investment Corporation, 2014) (Adirondack & Glens Falls Transportation Council, 2015) (Chovan & Straka, 2015) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (Frade et al., 2012) (Gkatzoflias et al., 2016) (Chen et al., 2013) (Namdeo et al., 2013) (Raposo et al., sem data) (Ricardo, 2012) (Kandukuri, 2013) (Hydro-Québec, 2015) (TIPS LAB, sem data) (Jin, 2016) (Kanters, 2013) (Funke et al., 2015)
Intermodalidade	Possibilidade de conectar modos de transporte	(Vermont Energy Investment Corporation, 2014) (Philipsen et al., 2016) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (E. Costa et al., 2017) (Gkatzoflias et al., 2016) (Chen et al., 2013) (Namdeo et al., 2013) (Ricardo, 2012)
Proximidade às estradas principais/rotas UVE	Aproximar os postos à rota dos UVE, conveniência	(Gao & Guo, 2013) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014) (Caviedes et al., sem data) (E. Costa et al., 2017) (Zhao & Li, 2016) (Ricardo, 2012) (Hydro-Québec, 2015) (Jin, 2016) (Chen et al., 2013) (TIPS LAB, sem data)
Proximidade e densidade de postos de carregamento	Fator negativo da instalação de novos postos	(Caviedes et al., sem data) (TIPS LAB, sem data) (Ricardo, 2012)

Quadro 17 - Critérios espaciais comuns no caso dos postos de carregamento rápido

Critério	Explicação	Autores
Proximidade às estradas principais/ tráfego intenso	Elevada acessibilidade para carregamento esporádico	(Lindblad, 2012) (Hydro-Québec, 2015) (Adirondack & Glens Falls Transportation Council, 2015) (Gao & Guo, 2013) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014)
Postos de combustível/ áreas de serviço	Dado o contexto e o tempo de carregamento estes locais adequam-se	(Ward, 2016) (Philipsen et al., 2016) (Gkatzoflias et al., 2016)
Locais de partida e de destino (equipamentos)	Adaptar a localização às viagens	(Ward, 2016) (Namdeo et al., 2013) (Ayuntamiento de Málaga and Green eMotion, 2014)

Tabela 1 - Graus de importância entre variáveis - PAH.

<i>Intensity of Importance</i>	<i>Definition</i>	<i>Explanation</i>
1	Equal Importance	Two activities contribute equally to the objective
2	Weak or slight	
3	Moderate importance	Experience and judgement slightly favour one activity over another
4	Moderate plus	
5	Strong importance	Experience and judgement strongly favour one activity over another
6	Strong plus	
7	Very strong or demonstrated importance	An activity is favoured very strongly over another; its dominance demonstrated in practice
8	Very, very strong	
9	Extreme importance	The evidence favouring one activity over another is of the highest possible order of affirmation

Fonte: Saaty (2008).

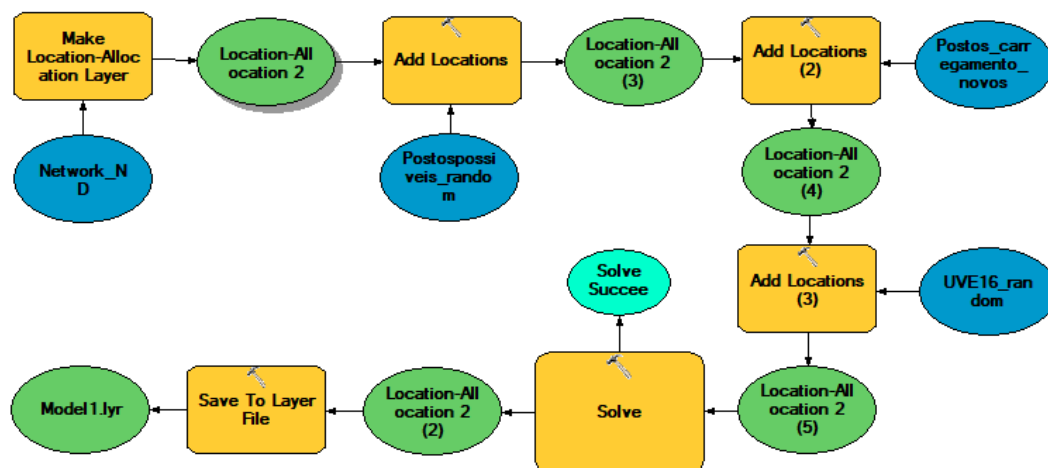


Figura 64 - Esquema conceptual do script detalhado no *Modelbuilder*.